



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO
CAMPUS DIADEMA



FERNANDA BERNINI LIPORONI

**CARTA DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS
GRAVITACIONAIS DE MASSA DO MUNICÍPIO DE SÃO
BERNARDO DO CAMPO - SP UTILIZANDO FERRAMENTAS
DE GEOPROCESSAMENTO**

DIADEMA

2021



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO
CAMPUS DIADEMA



FERNANDA BERNINI LIPORONI

**CARTA DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS
GRAVITACIONAIS DE MASSA DO MUNICÍPIO DE SÃO
BERNARDO DO CAMPO - SP UTILIZANDO FERRAMENTAS
DE GEOPROCESSAMENTO**

DIADEMA

2021

FERNANDA BERNINI LIPORONI

**CARTA DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS
GRAVITACIONAIS DE MASSA DO MUNICÍPIO DE SÃO
BERNARDO DO CAMPO - SP UTILIZANDO FERRAMENTAS
DE GEOPROCESSAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como exigência parcial para a obtenção de título de
Bacharel em Ciências Ambientais, ao Instituto de
Ciências Ambientais, Químicas e Farmacêuticas da
Universidade Federal de São Paulo – *Campus*
Diadema.

Orientador: Prof. Dr. Adilson Viana Soares Junior

DIADEMA

2021

Dados Internacionais da Catalogação na Publicação (CIP)

Liporoni, Fernanda Bernini

CARTA DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS
GRAVITACIONAIS DE MASSA DO MUNICÍPIO DE SÃO
BERNARDO DO CAMPO - SP UTILIZANDO FERRAMENTAS DE
GEOPROCESSAMENTO / Fernanda Bernini Liporoni. -- Diadema,
2021.

63 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências
Ambientais) - Universidade Federal de São Paulo - Campus
Diadema, 2021.

Orientador: Adilson Soares Viana Junior

1. Carta de Suscetibilidade. 2. Movimentos de Massa. 3. São
Bernardo do Campo. 4. Geoprocessamento. 5. QGIS. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do Instituto de Ciências Ambientais, Químicas e Farmacêuticas,
Campus Diadema da Universidade Federal de São Paulo, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

FERNANDA BERNINI LIPORONI

**Carta de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa do Município de São
Bernardo do Campo – SP utilizando ferramentas de geoprocessamento**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para a obtenção de título de Bacharel em Ciências Ambientais, ao Instituto de Ciências Ambientais, Químicas e Farmacêuticas da Universidade Federal de São Paulo – Campus Diadema.

Orientador: Prof. Dr. Adilson Viana Soares Junior

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Adilson Viana Soares Júnior- Orientador
Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP

Prof. Dr. José Guilherme Franchi
Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP

Prof. Dr. Fábio Braz Machado
Universidade Federal do Paraná – UFPR

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer aos meus queridos e amáveis pais, por terem me educado no sentido de dar valor aos estudos e terem aberto meus olhos a um universo amostral cheio de boas oportunidades e bons caminhos a serem tomados. Agradeço a toda minha família por todo apoio moral e financeiro e pela presença, mesmo que à distância, que sempre desempenharam na minha vida em etapas importantes. Agradeço, em especial, ao meu irmão, Leonardo, que mesmo sem saber me alavancou muito no sentido de que eu fosse um exemplo que possa ser seguido, tanto para ele, quanto para outrem.

Agradeço também imensamente ao meu orientador Prof. Dr. Adilson Viana Soares Jr., por toda a paciência e dedicação despejadas sobre mim e sobre este trabalho principalmente nos tempos difíceis de pandemia que permearam a nossa trajetória.

Quero agradecer também a todos os amigos que o curso de Ciências Ambientais me trouxe, que deixaram essa caminhada bem mais leve, divertida, cheia de histórias para contar e cheia de experiências muito bem vividas, sejam desde trabalhos em sala de aula, saídas de campo ou festas da faculdade. Gostaria também de agradecer a todas as outras pessoas que fizeram parte da minha caminhada na Universidade, inclusive às pessoas que me complicaram, vocês acabaram me ajudando no fim!

RESUMO

O crescimento desordenado das grandes cidades nas últimas décadas culminou na ocupação de lugares geológica-geomorfologicamente desfavoráveis, tornando as Cartas de Suscetibilidade uma importante ferramenta no que tange o auxílio ao Poder Público na implantação de políticas públicas que reduzam o impacto dos Movimentos de Massa. Este trabalho tem como objetivo a criação de uma Carta de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa para o Município de São Bernardo do Campo – SP utilizando dados geológicos e de Sensoriamento Remoto através de ferramentas de geoprocessamento e a partir do resultado, identificar as áreas do município em área de Suscetibilidade Alta. A Carta foi elaborada a partir da álgebra de mapas de cinco fatores condicionantes importantes para a ocorrência de eventos de Movimentos Gravitacionais de Massa: Declividade, Litologia, Uso do solo, Curvatura Vertical e Densidade de Lineamentos. Os resultados indicaram um predomínio de áreas de Suscetibilidade Baixa em 67,82% do território municipal, havendo também 26,69% do território incluso em áreas de Suscetibilidade Moderada e somente 5,49% do território em áreas de Suscetibilidade Alta. As áreas mapeadas como Suscetibilidade Baixa estão associadas a declividades baixas, suportadas por Granitos não foliados e em áreas urbanas consolidadas; As áreas mapeadas como Suscetibilidade Moderada estão associadas a declividades moderadas, suportadas por Migmatitos e Gnaisses em áreas de solo exposto e as áreas mapeadas como Suscetibilidade Alta estão associadas a declividades altas, suportadas por Micaxistos em áreas urbanas de aglomerados subnormais.

Palavras-chave: Carta de Suscetibilidade, Movimentos de Massa, São Bernardo do Campo, Geoprocessamento, QGIS.

ABSTRACT

The disorderly growth of large cities in recent decades has culminated in the occupation of geologically-geomorphologically unfavorable places, making the Letters of Susceptibility an important tool in terms of assisting the Public Power in the implementation of public policies that reduce the impact of the Mass Movements. This work aims to create a Letter of Susceptibility to Gravitational Mass Movements for the Municipality of São Bernardo do Campo - SP using geological data and Remote Sensing through geoprocessing tools and from the result, identify the areas of the municipality in High Susceptibility area. The Chart was elaborated from the algebra of maps of five important conditioning factors for the occurrence of Mass Gravitational Movements events: Declivity, Litology, Land Use, Vertical Curvature and Linearity Density. The results indicated a predominance of areas of Low Susceptibility in 67.82% of the municipal territory, with 26.69% of the territory also included in areas of Moderate Susceptibility and only 5.49% of the territory in areas of High Susceptibility. The areas mapped as Low Susceptibility are associated with low slopes, supported by non-foliated Granites and in consolidated urban areas; Areas mapped as Moderate Susceptibility are associated with moderate slopes, supported by Migmatites and Gneisses in areas of exposed soil and areas mapped as High Susceptibility are associated with high slopes, supported by Mica schists in urban areas of subnormal agglomerates.

Keywords: Susceptibility Chart, Mass Movements, São Bernardo do Campo, Geoprocessing, QGIS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização do município de São Bernardo do Campo.....	4
Figura 2 – Macrozoneamento.....	6
Figura 3 – Calculadora raster.....	24
Figura 4 – Mapa de Declividade do Município de São Bernardo do Campo - SP.....	26
Figura 5 – Mapa litológico do Município de São Bernardo do Campo – SP.....	28
Figura 6 – Mapa de Uso do Solo do Município de São Bernardo do Campo –SP.....	30
Figura 7 – Mapa de Curvatura Vertical do Município de São Bernardo do Campo –SP.....	32
Figura 8 – Mapa dos Lineamentos do Município de São Bernardo do Campo – SP.....	34
Figura 9 – Mapa da Densidade de Lineamentos do Município de São Bernardo do Campo – SP.....	35
Figura 10 – Carta de Suscetibilidade a Movimentos de Massa do Município de São Bernardo do Campo – SP.....	37
Figura 11 – Mapa dos Bairros de São Bernardo do Campo.....	39
Figura 12 – Suscetibilidade Alta em Área Urbana.....	41
Figura 13 – Cartas de Suscetibilidade comparadas.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Definição dos termos.....	10
Tabela 2 - Descrição das classes de Suscetibilidade.....	11
Tabela 3 – Bandas, comprimento de onda e resolução das imagens Landsat.....	18
Tabela 4 – Fatores Condicionantes do Processo de Movimento Gravitacional de Massa, graus de risco numérico e descritivo e os respectivos pesos atribuídos.....	20
Tabela 5 – Intervalos de Declividade de acordo com De Biasi (1992) e grau de risco associado.....	21
Tabela 6 – Classes de declividade associadas ao Grau de Risco e suas porcentagens em área.....	25
Tabela 7 – Classes litológicas associadas ao Grau de Risco e suas porcentagens em área.....	27
Tabela 8 – Classes de uso do solo associadas ao Grau de Risco e suas porcentagens em área.....	29
Tabela 9 – Classes de curvatura associadas ao Grau de Risco e suas porcentagens em área...	31
Tabela 10 – Densidade de Lineamento e suas porcentagens em área.....	33
Tabela 11 – Classes de suscetibilidade e suas porcentagens em área.....	36
Tabela 12 – Bairros em área urbana cometidos por áreas de Suscetibilidade Alta.....	40
Tabela 13 – Área em Km ² de cada Classe de Suscetibilidade.....	43
Tabela 14 – Porcentagem de cada Classe de Suscetibilidade no território municipal.....	43

RELAÇÃO DE SIGLAS E ABREVIACÕES

APRM - Área de Proteção e Recuperação dos Mananciais

ASI – *Agenzia Spaziale Italiana*

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

DLR – *Deutschens Zentrum für Luft – und Raumfahrt*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

IPT- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

IS – Índice de Suscetibilidade

NASA- *National Aeronautics and Space Administration*

NGA - *National Geospatial-Intelligence Agency*

OLI - *Operational Land Imager*

PMSBC – Prefeitura Municipal de São Bernardo do Campo

PNPDEC – Política Nacional de Proteção e Defesa Civil

QGIS – *Quantum GIS*

SAR – Radar de abertura sintética

SCP - *Semi-Automatic Classification Plugin*

SIG- Sistema de Informação Geográfica

SIRGAS – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission*

TIRS - *Thermal Infrared Sensor*

UN- ISDR – *United Nations International Strategy for Disaster Reduction.*

USGS - *United States Geological Survey*

UTM- *Universal Transverse Mercator*

WGS 84- *World Geodetic System 84*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo geral	3
2.2. Objetivos específicos.....	3
3. ÁREA DE ESTUDO.....	4
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
4.1 Movimentos Gravitacionais de massa e suas tipologias	7
4.1.1 Escorregamentos.....	7
4.1.2 Rastejos (Creep)	8
4.1.3 Corridas (Flow)	8
4.1.4 Movimento de Blocos	9
4.2 CARTA DE SUSCETIBILIDADE	9
4.3 FATORES CONDICIONANTES	11
4.3.1 Declividade	11
4.3.2 Litologia	12
4.3.3 Uso do solo.....	13
4.3.4 Lineamentos estruturais	14
4.3.5 Curvatura Vertical	15
5. MATERIAIS E MÉTODOS	16
5.1 Materiais	16
5.1.1 Imagens Landsat 8.....	16
5.1.2 Imagem de Radar SRTM	17
5.1.3 Aglomerados Subnormais	18
5.1.4 Geologia	18
5.1.5 Software QGIS	18
5.2. Métodos	19
5.2.1. Mapa de Declividade.....	21
5.2.2. Mapa de Litologia.....	21
5.2.3. Mapa de Uso do Solo	22

5.2.4. Mapa de Curvatura Vertical	23
5.2.5. Mapa de Densidade de Lineamentos.....	23
5.2.6. Carta de Suscetibilidade	24
6. RESULTADOS	26
6.1 Mapa de Declividade.....	26
6.2 Mapa Litológico	28
6.3 Mapa de Uso do Solo	30
6.4 Mapa de Curvatura Vertical	32
6.5 Mapa de Densidade de Lineamentos.....	34
6.6 Carta de Suscetibilidade	37
7. VALIDAÇÃO DO MAPA.....	42
8. CONCLUSÕES	44
9. REFERÊNCIAS	45

1. INTRODUÇÃO

Os movimentos gravitacionais de massa são definidos como o transporte de material de solo e rochas, em superfícies inclinadas, a partir da influência de força gravitacional, caracterizados como eventos naturais de grande poder destrutivo, podem partir de erupções vulcânicas, terremotos ou inundações, também podendo ser intensificados por ação antrópica, sendo resultado da interação complexa de fatores geológicos, geomorfológicos e meteorológicos (Bates & Jackson, 1987).

Eventualmente estes movimentos de massa trazem danos materiais e mortes quando ocorrem em regiões habitadas, tornando extremamente necessário o mapeamento de suscetibilidade da ocorrência destes fenômenos. Diante disto, surge o termo Risco Geológico, que vislumbra uma situação de perigo onde há danos ou perdas ao homem e suas propriedades em função da ocorrência destes processos, sendo eles induzidos ou não (CERRI, 1993).

O crescimento desordenado das grandes cidades nas últimas décadas, sem nenhum tipo de planejamento urbano, ocasionou grande migração de parcela da população, principalmente a população menos favorecida economicamente, para locais com condicionantes geológicas e geomorfológicas desfavoráveis à ocupação, locais estes, que possuem valores de mercado inferiores quando comparados à locais mais seguros em áreas mais planas. Consequentemente, a construção de moradias em áreas declivosas é precedida pela retirada da vegetação e cortes no terreno, além de posterior encoamento de esgoto, podendo se tornar fatores contribuintes para a ocorrência dos movimentos de massa (PICANÇO, 2010).

Além disso, o autor referido, ainda considera que o processo de urbanização desordenado vem promovendo alterações no regime natural e de infiltração das águas pluviais, resultando em impactos significativos na dinâmica das encostas, favorecendo os movimentos gravitacionais de massa. No entanto, em 2012, foi aprovada a Lei Federal 12.608 que instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), onde foi estabelecido que cada município se responsabilizasse pelo mapeamento e fiscalização de áreas suscetíveis a tais processos do meio físico com potencial gerador de desastres (BRASIL, 2012).

Desta maneira, o potencial das técnicas de geoprocessamento empregadas na análise de desastres naturais, como os movimentos gravitacionais de massa, vem sendo cada vez mais explorado em busca de métodos confiáveis e eficientes de mapeamento de informações fundamentais como as condições geológicas, topográficas e hidrológicas do local (Kanungo &

Sarkar, 2004). O fornecimento dessas informações aos tomadores de decisões, (agências governamentais, planejadores urbanos, proprietários de terra e outros), permite a realização de planos emergenciais de redução dos impactos negativos destes fenômenos na infraestrutura urbana e nas vidas humanas (Kavzoglu, 2014).

Nas últimas décadas, diversos casos de deslizamentos no município de São Bernardo do Campo foram reportados por jornais locais e regionais por causarem danos e mortes, como o caso de 13 de janeiro de 2005 que relata deslizamentos em favelas resultando em 9 mortes (FOLHA, 2005), o caso de 11 de março de 2019 que reporta deslizamentos e mortes em Ribeirão Pires, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul e Mauá, resultando em 1 morte em São Bernardo (TERRA, 2019), e outros episódios reportados por causarem danos.

A partir do histórico de ocorrência de Movimentos Gravitacionais de Massa no Município de São Bernardo do Campo, se torna de grande importância a confecção da Carta de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa, a fim de que, entregue ao Poder Público, possam ser tomadas medidas e criadas políticas públicas para a mitigação e prevenção de acidentes causados por deslizamentos de terra no município.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo elaborar a Carta de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa do município de São Bernardo do Campo - SP a partir da utilização de dados geológicos, geomorfológicos e ambientais processados por ferramentas de Geoprocessamento.

2.2. Objetivos específicos

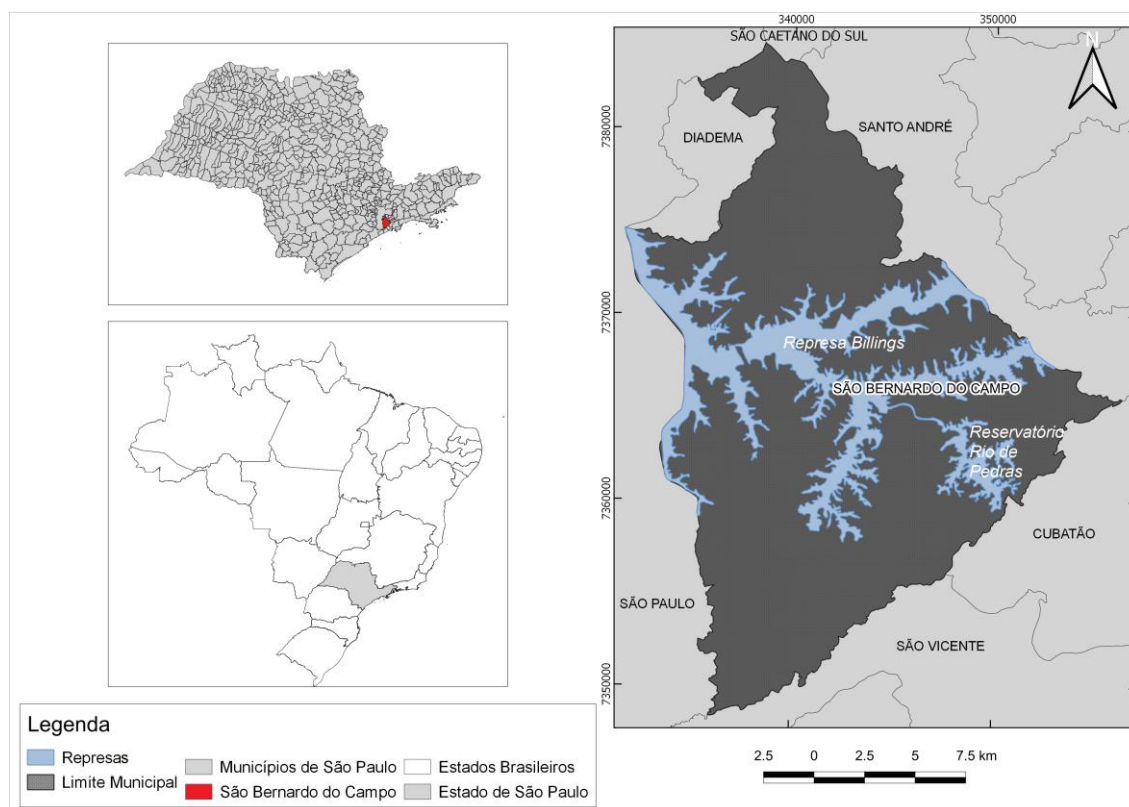
Os objetivos específicos desta pesquisa incluem:

- Comparar os resultados com a Carta de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações: Município de São Bernardo do Campo - SP do IPT/CPRM afim de validar o método utilizado e o resultado obtido.
- Identificar no município quais áreas de grau alto de risco já estão ocupadas.

3. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo do presente trabalho compreende a totalidade do município de São Bernardo do Campo, localizado entre as coordenadas máximas e mínimas, respectivamente, de 23° 58' 01", 27"S, 46° 39' 07"O e 23° 38' 27"S, 46° 24' 37"O. (Figura 1). Localizada à sudeste da Região Metropolitana de São Paulo, fica a 21,7km do Marco Zero da capital (Praça da Sé), integra a região do Grande ABC e faz fronteira com São Vicente, Cubatão, Santo André, São Caetano do Sul, Diadema e São Paulo (PMSBC, 2019).

Figura 1 – Localização do Município de São Bernardo do Campo –SP.



Fonte: Elaboração própria.

Seu principal bioma é a Mata Atlântica em região de Floresta Ombrófila Densa, o clima é tropical de altitude com variação de temperaturas médias entre 13°C e 26°C e pluviosidade média anual de 1505mm (CPRM, 2013). Possui densa rede de drenagem por estar inserido em três bacias hidrográficas, a Bacia do Rio Tamanduateí, Bacia do Reservatório Billings e Bacia da Baixada Santista das quais escoam os principais rios e córregos do município como o Ribeirão dos Meninos e o Ribeirão dos Couros (PMSBC, 2019).

O território municipal possui uma área de 408,45km², deste total 118,21km² (28,94%) representa a zona urbana, 214,42km² (52,50%) a zona rural e 75,82km² (18,56%) pertence à represa Billings, além disso, 53,7% do seu território representa áreas de proteção de mananciais (PMSBC, 2019). Sua população no último censo (2010) era de 765.463 pessoas com densidade demográfica igual a 1869,36 habitantes/km² e a população estimada para o ano de 2019 seria de 838.936 pessoas (IBGE, 2020). Conforme dados do IBGE, 18,1% da população do município reside em aglomerados subnormais (MundoGEO, 2020), que são formas de ocupação irregulares em terrenos de propriedade alheia (público ou privado) para habitação, e que, em geral, são caracterizados por um padrão urbanístico irregular, carência de serviços públicos essenciais e estão localizados em áreas de restrição à ocupação (IBGE, 2020).

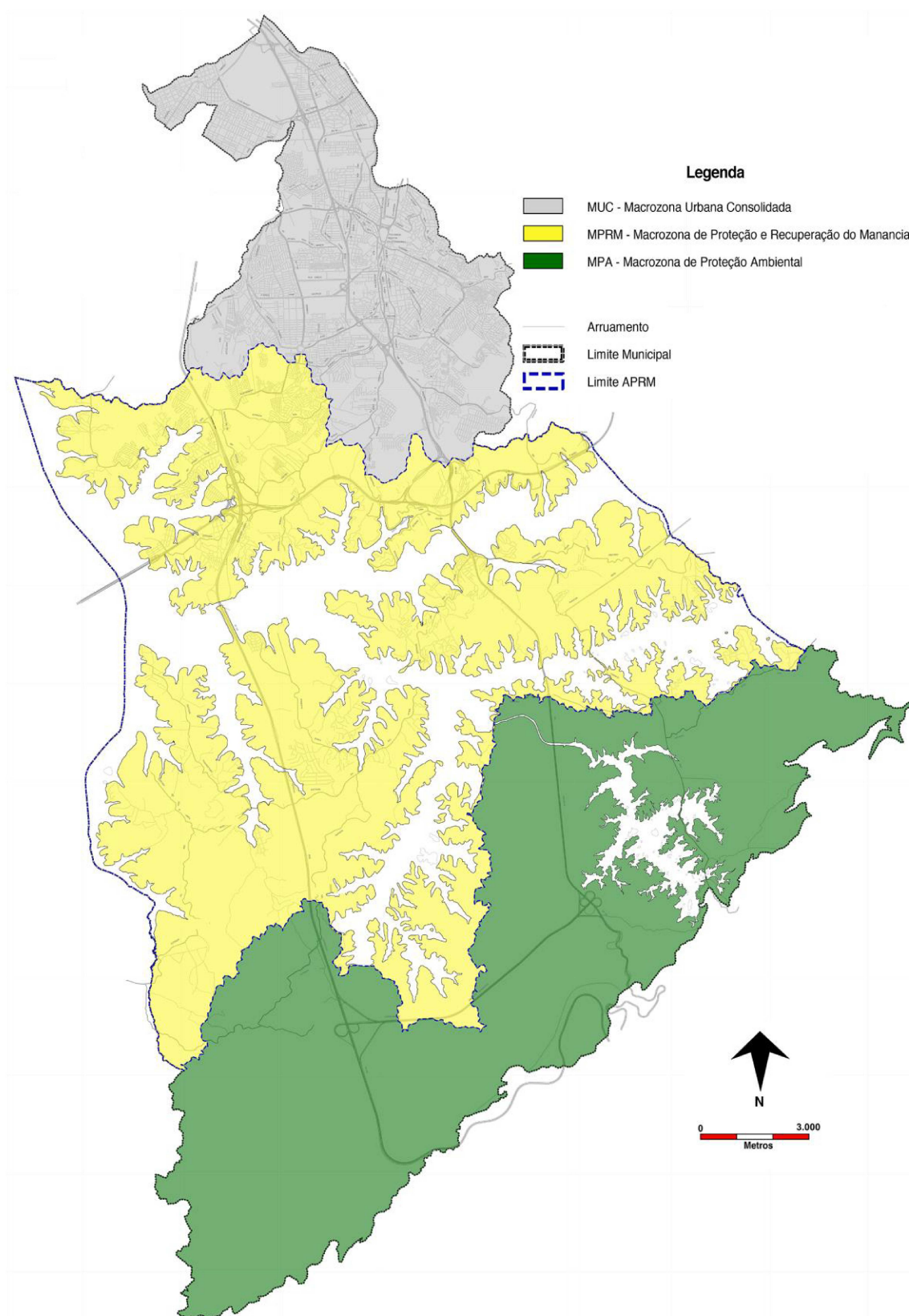
A partir do Plano Diretor Municipal, Lei nº 6.184/11, o município foi dividido em três macrozonas (Figura 2):

- Macrozona Urbana Consolidada: Parcela do território urbana com oferta de infraestrutura para a intensificação da ocupação e adensamento populacional de modo a inibir terrenos ociosos localizada na Bacia do Rio Tamanduateí.

- Macrozona de Proteção e Recuperação do Manancial: Coincidente com os limites da Área de Proteção e Recuperação do Manancial Billings (APRM-Billings) é a parte do território destinada à preservação das características naturais para manutenção da produção de água, recuperação de áreas degradadas, regularização fundiária dos assentamentos já existentes, controle da expansão de núcleos habitacionais e incentivo a usos compatíveis à preservação ambiental. Está situada nas porções marginais da represa e é dividida em duas macroáreas: Macroárea Urbana em Estruturação e Macroárea de Manejo Sustentável.

- Macrozona de Proteção Ambiental: Parcela do território ocupada em grande parte pelo Parque Estadual da Serra do Mar (Unidade de Conservação de Proteção Integral) tem como objetivo a conservação, preservação e uso sustentável dos recursos, recomposição da fauna e da flora nativa, recuperação de áreas degradadas ambientalmente e provisão de áreas estratégicas para o desenvolvimento do município de maneira sustentável. Está localizada na Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão na porção Sul do território (SÃO BERNARDO DO CAMPO, 2011).

Figura 2 – Macrozoneamento



Fonte: Plano Diretor Municipal, 2011.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Movimentos Gravitacionais de massa e suas tipologias

Tominaga *et al.*, (2009) define como movimentos gravitacionais de massa os movimentos do solo, rocha e/ou vegetação ao longo da vertente sob a ação direta da gravidade. Esses eventos podem ser desencadeados através da interação entre diversos fatores endógenos e fatores exógenos. Entende-se por fatores endógenos o tipo de solo, de rocha ou de forma de terreno e por fatores exógenos as variáveis climáticas, os fatores antrópicos e outros (Fernandes & Amaral, 2000). Como existem diversos materiais e processos envolvidos dentro da temática dos movimentos de massa, conseqüentemente há uma grande variedade de tipos de movimentos. De acordo com Selby (1982), a distinção das tipologias de movimentos de massa se dá por alguns critérios, tais como: velocidade e mecanismo do movimento; material; modo de deformação; geometria da massa mobilizada; e o conteúdo de água, o que gera os seguintes eventos:

4.1.1 Escorregamentos

Escorregamentos são caracterizados por Infanti Jr & Fornasari Filho (1998) como sendo movimentos rápidos de curta duração e com planos definidos. Um escorregamento ocorre quando há decréscimo na relação entre a resistência ao cisalhamento do material e a tensão de cisalhamento na superfície potencial de movimentação. Portanto, quando a força gravitacional vence o atrito interno das partículas, responsável pela estabilidade, a massa de solo acaba movimentando-se encosta abaixo. O principal fator para reduzir o atrito entre as partículas é a infiltração de água no maciço do solo e quando este solo atinge o estado de saturação com a perda total do atrito entre as partículas, processo conhecido como solifluxão, passa a se mobilizar encosta abaixo, formando os movimentos de massa do tipo corridas. Podem ser classificados de acordo com a sua geometria e a natureza do material da seguinte forma:

A. Escorregamentos Planares (Translacionais).

Nesta tipologia de escorregamentos, há a formação de superfície de ruptura planar que estão associadas às heterogeneidades dos solos e rochas que representam descontinuidades mecânicas e/ou hidrológicas derivadas de processos geológicos, geomorfológicos ou pedológicos. Caracterizam-se por serem rasos, com plano de ruptura a 0,5 a 5 m de profundidade e com maiores extensões no comprimento. Tem

sua ocorrência tanto em altas ou baixas declividades e podem atingir centenas ou até milhares de metros (FERNANDES & AMARAL, 2000). Geralmente, os escorregamentos translacionais acontecem durante ou logo após períodos de chuvas intensas. Comumente, a superfície de ruptura coincide com a interface solo-rocha, a qual representa uma descontinuidade mecânica e hidrológica.

B. Escorregamentos Circulares (Rotacionais)

São caracterizados por uma superfície de ruptura curva ao longo de onde se dá um movimento rotacional do maciço de solo. Tem sua ocorrência associada à existência de solos espessos e homogêneos, como, por exemplo, os decorrentes da alteração das rochas argilosas. É um fenômeno frequente nas encostas do sudeste brasileiro, mobilizando geralmente o manto de alteração, e podem se tornar processos catastróficos, com o deslizamento súbito do solo residual que recobre a rocha ao longo de uma superfície qualquer de ruptura, ou ao longo da própria superfície da rocha (TOMINAGA *et al.*, 2009).

C. Escorregamentos em cunha

É um tipo de escorregamento que está associado aos maciços rochosos pouco ou muito alterados, nos quais a existência de duas estruturas planares, que são desfavoráveis à estabilidade, condicionando o deslocamento de um prisma ao longo do eixo de intersecção destes planos. Tem a sua ocorrência, principalmente, em taludes de corte ou em encostas que sofreram algum tipo de desconfinamento, natural ou antrópico (TOMINAGA *et al.*, 2009).

4.1.2 Rastejos (Creep)

São caracterizados como movimentos lentos e contínuos de material de encostas com limites indefinidos. Tem como causa a gravidade, que está associada também aos efeitos das variações de temperatura e umidade. O movimento é provocado a partir do processo de expansão e contração da massa do material (TOMINAGA *et al.*, 2009).

4.1.3 Corridas (Flow)

São caracterizadas como formas rápidas de escoamento de caráter essencialmente hidrodinâmico, que são ocasionadas a partir da perda de atrito interno das partículas de solo, devido à destruição de sua estrutura interna, na presença de excesso de água. São gerados a partir de um grande aporte de materiais como solo, rocha e árvores que, ao atingirem as drenagens, formam uma massa de elevada densidade e viscosidade. Esta massa deslocada pode atingir grandes distâncias com extrema rapidez (TOMINAGA *et al.*, 2009).

4.1.4 Movimento de Blocos

São deslocamentos, pela ação da gravidade, de blocos rochosos. Segundo Infanti Jr & Fornasari Filho (1998), esta tipologia de movimento de massa pode ser dividida em outros quatro tipos que foram definidos pelos mesmos da seguinte forma:

A. Queda de Blocos: “Blocos de rocha que se desprendem do maciço e se deslocam em queda livre encosta abaixo, podendo ocorrer em volumes e litologias diversas”.

B. Tombamento de Blocos: “Movimento de rotação de blocos rochosos que é condicionado por estruturas geológicas no maciço rochoso subvertical”.

C. Rolamento de Blocos: “Movimento de blocos rochosos ao longo de encostas, que ocorre geralmente pela perda de apoio (descalçamento)”.

D. Desplacamento: “Movimento em queda livre ou por deslizamento de blocos rochosos, ao longo de superfícies estruturais (xistosidade, acamamento), que ocorre devido às variações térmicas ou por alívio de pressão”.

4.2 CARTA DE SUSCETIBILIDADE

A Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), estabelecida pela Lei Federal 12.608/12, introduziu alterações no Estatuto da Cidade (Lei Federal 10.257, 2001) que são elencadas por Bitar (2015) no “Guia de Cartas Geotécnicas: orientações básicas aos municípios”, tais como a “obrigatoriedade de elaboração de plano diretor nos municípios que possuem áreas suscetíveis a processos geológicos ou hidrológicos que podem gerar desastres naturais”. Além disso, essa política propõe a adição do mapeamento das áreas suscetíveis ao plano diretor dos municípios que possuam áreas suscetíveis a processos geológicos ou hidrológicos em seus territórios, por meio do mapa ou carta de suscetibilidade. Entende-se por suscetibilidade de uma área aos eventos geológicos a possibilidade de que a ocorrência dos

mesmos cause consequências sociais e econômicas (Cerri & Amaral, 1998). Tominaga *et al.* (2004) e Tominaga (2007) consideram as distinções e definições dos termos “Perigo”, “Vulnerabilidade” e “Risco” de acordo com a Tabela 1:

Tabela 1 – Definição dos termos.

Terminologia	Definição
Perigo	É a possibilidade de um processo ou fenômeno natural potencialmente danoso ocorrer num determinado local e período específico.
Vulnerabilidade	É o conjunto de processos e condições resultantes de fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais, que aumenta a suscetibilidade de uma comunidade (elemento em risco) ao impacto dos perigos. A vulnerabilidade compreende tantos aspectos físicos (resistência de construções e proteções de infraestrutura) como fatores humanos, tais como, econômicos sociais, políticos, técnicos, culturais, educacionais, institucionais.
Risco	É a possibilidade de se ter consequências prejudiciais ou danosas em função de perigos naturais ou induzidos pelo homem. Considera-se Risco como uma função do Perigo, da Vulnerabilidade e do Dano Potencial: $R = P \times V \times DP$.

Fonte: Tominaga, 2009.

No Brasil, os órgãos públicos responsáveis pelos serviços geológicos municipais, estaduais e federais, como o Serviço Geológico do Brasil (CPRM), assim como as unidades ligadas às áreas de geociências aplicadas de institutos de pesquisa e universidade, caso do IPT, podem reunir as competências necessárias para a elaboração das cartas geotécnicas (BITAR, 2015).

A carta de suscetibilidade a movimentos de massa é considerada como uma carta geotécnica, sendo um documento cartográfico elaborado por meio de trabalhos de mapeamento realizados em campo e laboratório, e resume o conhecimento do meio físico e de seus processos geodinâmicos atuantes, bem como as prováveis recomendações sobre as medidas estruturais que devem ser adotadas para que as eventuais intervenções no ambiente sejam realizadas de uma maneira apropriada às características geotécnicas dos terrenos (BITAR, 2015). Ainda segundo Bitar (2015), a carta de suscetibilidade tem como objetivo

“classificar os terrenos em distintos graus quanto à propensão a processos do meio físico que podem gerar desastres naturais (ex.: baixa, média e alta suscetibilidade a deslizamento ou inundação)”.

Desta maneira o IPT (2014) descreve e caracteriza as Classes de Suscetibilidade utilizadas na Carta de Suscetibilidade a Movimentos de massa de acordo com a Tabela 2:

Tabela 2 – Descrição das classes de Suscetibilidade.

Classe de suscetibilidade	Descrição
Alta	Contempla 90% dos deslizamentos.
Média	Abrange os demais deslizamentos ocorridos na área piloto, totalizando cerca de 100% da área das cicatrizes mapeadas.
Baixa	Representa as demais áreas cuja ocorrência de deslizamentos na área piloto tende a ser desprezível.

Fonte: IPT, 2014.

4.3 FATORES CONDICIONANTES

De acordo com Tominaga (2007), os fatores condicionantes correspondem aos elementos do meio físico principalmente e, secundariamente, do meio biótico os quais contribuem para o desencadeamento do processo de Movimento de Massa. Os fatores condicionantes assemelham-se aos conjuntos de condições geológicas, geométricas e ambientais da área, na qual se desenvolve o movimento de massa. Trata-se das condições naturais dadas pelas características intrínsecas dos materiais, sem a ação humana.

Para este estudo, os fatores condicionantes utilizados para a criação da carta de suscetibilidade a movimentos de massa foram: declividade; litologia; uso e ocupação do solo; densidade de lineamentos estruturais na área e a curvatura vertical. Cada fator será descrito a seguir e de que forma influencia o processo de movimento de massas.

4.3.1 Declividade

A declividade é um dos principais fatores para contribuir na instabilidade das encostas, através do fluxo torrencial que ocorre na superfície, gerando consequentes processos erosivos

e movimentos coletivos de materiais. A análise do fator declividade possibilita evidenciar como ocorre a distribuição das inclinações de uma superfície no terreno em uma paisagem, visto que este fator apresenta papel importante na análise do balanço morfogênese/pedogênese (ZAI *et al.*, 2006). Há uma relação diretamente proporcional entre o ângulo da declividade, a velocidade das massas de água e sua capacidade de transporte, e tal relação foi definida por Zai *et al.* (2006) como: quanto maior o ângulo da declividade, mais rapidamente a energia potencial das águas pluviais se transforma em energia cinética, aumentando a velocidade das massas de água e sua capacidade de transporte, responsável pelos processos erosivos que esculpem as formas de relevo.

Os valores de declividades são comumente expressos em porcentagem, onde uma declividade de 100% representa uma inclinação de 45°. Cruz (1974) afirma que as vertentes mais atingidas por escorregamentos são as que apresentam mais fortes declives, acima de 40%; escorregamentos em declives menos íngremes estão relacionados às zonas de concentração de drenagem. Sidle *et al.* (1985) afirmam que a maioria dos taludes com ângulos maiores que 25° podem apresentar movimentação mais rápida do que aqueles onde os valores são inferiores a esse. As classes de declividades utilizadas neste trabalho foram aquelas propostas por De Biasi (1992) e possuem os seguintes limites em porcentagem: 0 a 5%, 5 a 12%, 12 a 30%, 30 a 47% e maior que 47%.

4.3.2 Litologia

A composição física e química dos tipos de rochas juntamente com suas propriedades mecânicas sob a ação de diferentes meios morfoclimáticos atuam decisivamente na deflagração dos movimentos gravitacionais de massa (PINTO *et al.*, 2013). Existem outros dois fatores importantes na deflagração de movimentos gravitacionais de massa presentes na natureza das rochas que são: o intemperismo e o escoamento superficial. As características básicas das rochas como a permeabilidade, a plasticidade e o grau de coesão interferem no modo de escoamento superficial, na composição química e na desagregação mecânica das mesmas. Sendo assim, os padrões de intemperismo, deslocamento e movimentação de material da encosta se apresentam de formas variáveis de acordo com cada tipo e caracterização de rocha no terreno ao qual está inserido (Penteado, 1974).

4.3.3 Uso do solo

Segundo Tominaga *et al.*, (2009), a ação humana interfere na dinâmica natural do sistema ambiental, normalmente acelerando a velocidade de mudança da condição natural. O principal fator antrópico associado aos Movimentos Gravitacionais de Massa é a construção de ocupações subnormais em áreas geológico-geomorfológicas impróprias para a ocupação humana, tais como encostas. Fernandes e Amaral (2000) levantam as seguintes causas antrópicas para a ocorrência de um escorregamento em uma encosta: os cortes no terreno para a construção das moradias e via de acesso, a retirada da cobertura vegetal das encostas deixando as mesmas desprotegidas, atividades de mineração e o lançamento de águas servidas e de lixos.

Dentre as causas levantadas por estes autores, a retirada da cobertura vegetal das encostas é um dos principais condicionantes para a ocorrência de um escorregamento em uma encosta. A cobertura vegetal é tida como um fator de estabilização de encostas. Além disso, a vegetação possui o papel de limitar a área atingida por um escorregamento, devido à retenção da massa mobilizada. Outro papel fundamental da vegetação é atuar como dissipador de energia, reduzindo a velocidade do material em deslocamento e a área afetada e minimizando os danos em terrenos situados à jusante (TOMINAGA, 2007).

A Área Urbana foi dividida neste trabalho em duas subcategorias: Consolidada e Aglomerados Subnormais. Área Urbana Consolidada é definida pela Lei Federal nº 13.465, de 11 de Julho de 2017, como aquela que atende aos seguintes critérios: definição legal pelo poder público; densidade demográfica superior a 5.000 hab./km² ; existência de no mínimo quatro dos seguintes equipamentos de infraestrutura urbana: malha viária com canalização de águas pluviais, rede de abastecimento de água, rede de esgoto, distribuição de energia elétrica e iluminação pública, recolhimento de resíduos sólidos urbanos, tratamento de resíduos sólidos urbanos. Aglomerado Subnormal é definido por IBGE (2013) como um conjunto de unidades habitacionais (barracos, casas, etc.) carentes, em sua maioria de serviços públicos essenciais. Algumas características identificam um aglomerado subnormal, tais como: a ocupação ilegal da terra, logo, a construção em terrenos de propriedade alheia (pública ou particular); a urbanização fora dos padrões vigentes, o que é refletido na presença de vias de circulação estreitas e de alinhamento irregular, lotes de tamanhos e formas desiguais e construções não regularizadas por órgãos públicos; e a precariedade de serviços públicos essenciais, tais como energia elétrica, coleta de lixo e redes de água e esgoto.

4.3.4 Lineamentos estruturais

Os lineamentos são feições mapeáveis na superfície terrestre, lineares, retilíneas ou suavemente encurvadas (O'LEARY *et al.*, 1976, FONSECA, 2009; ANDRADE FILHO, 2009). Vários autores versam sobre a relação existente entre as estruturas presentes nas rochas e sua influência nos processos de Movimento de Massa, com destaque para IPT (1985), Selby (1993), Fernandes & Amaral (2000) e Tominaga (2007). O IPT (1985) determina que as falhas propiciem caminhos por onde a água pluvial infiltra no maciço rochoso, e a pressão da mesma sobre o maciço, poderá levar a ruptura do talude, sendo um processo comum tanto em taludes rochosos como em taludes terrosos. Selby (1993) associa a ocorrência de escorregamento à presença de fraturas reliquias nas rochas, devido a três fatores, sendo eles: a presença de sistemas que mergulham para fora da vertente, o preenchimento destas fraturas com material argiloso formando barreiras ao fluxo d'água, ou uma redução no ângulo de atrito e na coesão por causa do avanço do intemperismo ao longo das fraturas.

De acordo com Fernandes & Amaral (2000), as fraturas e falhas representam importantes discontinuidades, tanto em termos mecânicos quanto hidráulicos. A orientação da foliação e/ou bandamento composicional (estruturas comuns nas rochas metamórficas), também influenciam na estabilidade das vertentes e principalmente de taludes de corte como as de estrada. Estes autores relacionam a presença de fraturas nas rochas em vertentes com a ocorrência de escorregamentos rotacionais, e a presença de saprólitos associados com juntas reliquias com a ocorrência de escorregamentos translacionais. Tais juntas reliquias são decorrentes da alteração das fraturas de alívio de tensão ou de bandamento composicional.

Na mesma linha de raciocínio, Dias e Hermann (2002) associam a presença de estruturas como fraturas, falhas, bandamentos e foliações ao surgimento de discontinuidades mecânicas e hidráulicas, que contribuem decisivamente na deflagração de movimentos de massa. Quando estas fraturas se encontram subverticais e próximas entre si, favorecem movimentos de blocos do tipo tombamento. Assim como as fraturas, as falhas também possuem uma atuação como caminhos preferenciais da alteração, devido ao fato das falhas atuarem diretamente no avanço do intemperismo para o interior do maciço rochoso de um modo muito mais efetivo (TOMINAGA, 2007), e são resultados da zona de ruptura do maciço que sofreu um grande esforço cisalhante (LORENZI, 2013).

Os padrões de diaclases e de fraturas nas rochas desempenham um papel importante na infiltração e na circulação das águas, e, portanto, na intemperização das rochas. Winge (2016) define diaclase como sendo uma superfície planar de discontinuidade física das rochas

(fraturas) em que não se observa deslocamento dos dois lados, como nas falhas. O intemperismo se apresenta mais rápido e mais profundo onde os sistemas de diaclases são mais concentrados ou onde a rocha é menos resistente. A movimentação do material da encosta é acentuada quando existem adensamento e arranjo da rede de diaclases. Os movimentos constituídos principalmente de material alterado parecem ser mais frequentes nas áreas de rególito mais espesso, no entanto, podem ter a sua ocorrência também em áreas com manto de intemperismo pouco espesso (BIGARELLA *et al.*, 2003).

4.3.5 Curvatura Vertical

A Curvatura Vertical (ou perfil da encosta) é um aspecto geomorfológico que possui influência direta na estabilidade das encostas por possuir relação com os processos de circulação e acúmulo de água, matéria orgânica e minerais no solo. É dividido em três tipos distintos: convexo, côncavo e retilíneo. Rodrigues (1992) descreveu as principais características acerca das três categorias morfológicas das encostas:

- Retilíneas - Apresentam ângulos constantes em seus perfis e menores espessuras de solo;
- Côncavas – Aumento do ângulo do perfil de cima para baixo nas encostas e maiores espessuras de solo;
- Convexas – Redução do ângulo do perfil de cima para baixo nas encostas e encontram-se, neste tipo de encosta, solos de espessura mediana.

Diferentes autores versam sobre o comportamento da curvatura da encosta no desencadeamento do processo de movimento de massa, em destaque para IPT (1991), Guerra (1998), Fernandes & Amaral (2000), Selby (1985), Kozciak (2005).

Para Guerra (1998) e Fernandes & Amaral (2000), os perfis côncavos, por serem zonas de convergência de sedimentos e fluxos d'água, são mais propícios aos movimentos de massa. Selby (1985) entende que nas encostas retilíneas sobressaem processos erosivos de grande velocidade. Kozciak (1985), em estudos referentes à estabilidade das vertentes na Bacia do Rio Marumbi na Serra do Mar paranaense, atestou que as formas convexas se apresentaram mais instáveis do que as côncavas e as retilíneas.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Materiais

Foram utilizadas imagens do satélite Landsat 8 OLI (*Operational Land Imager*) de 29 de abril de 2020 e Imagem de Radar SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) ambas com resolução espacial de 30 metros, adquiridas através da plataforma *Earth Explorer* (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) mantida pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (*United States Geological Survey* - *USGS*).

O mapa geológico utilizado foi o de Coutinho (1980) adquirido no formato *shapefile* através da plataforma do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo) e CPRM (Serviço Geológico Brasileiro) de dados do Programa Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundação.

Os dados de Aglomerados Subnormais também foram obtidos em formato *shapefile* através do site do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) no levantamento de dados para o censo 2010.

Todos os dados foram processados no software QGIS versão 3.6 (Noosa).

5.1.1 Imagens Landsat 8

O programa Landsat, gerenciado pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) é um conjunto de missões de satélites para observação da Terra. Lançado pela primeira vez em 2013 o satélite Landsat 8 possui um período de repetição de 16 dias, com órbita praticamente polar, posicionado de maneira heliossíncrona a uma altitude de aproximadamente 705km dispondo de dois sensores, um sensor óptico, o *Operational Land Imager* (OLI) e um sensor termal, o *Thermal Infrared Sensor* (TIRS). As imagens são orientadas para o hemisfério Norte com projeção *Universal Transversa de Mercator* (UTM) e Datum *World Geodetic System 1984* (WGS 1984) (USGS, 2020).

O Landsat 8 possui ao todo onze bandas em formato GeoTIFF, sendo oito bandas multiespectrais com 30 metros de resolução obtidas pelo sensor OLI (Bandas 1-7 e 9); uma banda pancromática coletada pelo sensor OLI com 15m de resolução (Banda 8); duas bandas termiais (Bandas 10 e 11) coletadas pelo sensor TIRS com 100m de resolução primária

reajustadas para resolução espacial de 30 metros (USGS, 2020). As bandas e suas respectivas resoluções espaciais e comprimentos de onda estão apresentadas a seguir na Tabela 3:

Tabela 3 – Bandas, comprimento de onda e resolução das imagens Landsat.

Bandas	Comprimento de onda (micrômetros)	Resolução (metros)
Banda 1 - Ultra Blue	0,43-0,45	30
Banda 2 – Blue	0,45-0,51	30
Banda 3 – Green	0,53-0,59	30
Banda 4 – Red	0,64-0,67	30
Banda 5 - Near Infrared (NIR)	0,85-0,88	30
Banda 6 - Shortwave Infrared (SWIR) 1	1,57-1,65	30
Banda 7 - Shortwave Infrared (SWIR) 2	2,11-2,29	30
Banda 8 – Panchromatic	0,50-0,68	15
Banda 9 – Cirrus	1,36-1,38	30
Banda 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1	10,6-11,19	100
Banda 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2	11,5-12,51	100

Fonte: USGS, 2020.

5.1.2 Imagem de Radar SRTM

A imagem de radar SRTM teve origem na missão de mapeamento da superfície terrestre *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) partindo de um projeto colaborativo entre a NASA, a NGA (*National Geospatial-Intelligence Agency*), o Departamento de Defesa dos Estados Unidos (*DoD*) e as agências espaciais alemã e italiana, DLR (*Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt*) e ASI (*Agenzia Spaziale Italiana*), respectivamente, que tinha como objetivo a obtenção de um banco de dados digitais utilizados para elaborar um Modelo Digital de Elevação de alta resolução das terras continentais entre os paralelos 60°N e 56°S, compreendendo cerca de 80% da superfície terrestre (NASA, 2020). Foi lançada por meio do ônibus espacial *Endeavour* no dia 11 de fevereiro de 2000 realizando 16 órbitas diárias na Terra até dia 22 de fevereiro de 2000 (11 dias), completando 176 órbitas durante toda a missão (USGS, 2020a). O método de coleta das imagens da missão SRTM parte da utilização

de dois radares de abertura sintética (SAR), sendo um de banda C, com abertura de 5,6cm (C-RADAR) e outro de banda X, com abertura de 3,1cm (X-RADAR), amostrando faixas de 1 *arc-second* por 1 *arc-second*, que é equivalente a aproximadamente 30m por 30m, desta maneira a utilização do X-RADAR permitia a obtenção de dados em faixas de 50 km de extensão enquanto a utilização do C-RADAR permitia a obtenção de um mapeamento adjunto da cobertura conforme os objetivos da missão SRTM (Farr *et al.* 2007).

5.1.3 Aglomerados Subnormais

Os dados de Aglomerados Subnormais do município de São Bernardo do Campo foram obtidos através dos resultados do Censo Demográfico de 2020 executado pelo IBGE disponibilizado na base de dados gráfica em formato *shapefile* (IBGE, 2020).

5.1.4 Geologia

O Mapa das unidades litológicas na escala de 1:100.000 foi adquirido a partir da Carta geológica da Região Metropolitana da Grande São Paulo de Coutinho (1980) disponibilizados no projeto “Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações” da CPRM (2013).

5.1.5 Software QGIS

Foi utilizado um ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica) de código aberto para o processamento dos dados através do Software QGIS 3.6 (Noosa) (OSGeo, 2020a).

O QGIS é um projeto da Open Source Geospatial Foundation (OSGeo) que funciona em diversos sistemas operacionais suportando vasta gama de formatos de vetores, rasters e bases de dados, tem por finalidade a visualização, criação, edição, gestão e exportação de dados, além da composição de mapas. (OSGeo, 2020b).

5.2. Métodos

Foram elaborados mapas a partir de dados geológicos disponíveis na literatura e também de imagens de satélite como as imagens Landsat 8 e imagens SRTM. Todos os dados foram previamente reprojatados para o Sistema de Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) Zona 23S e Datum SIRGAS 2000.

Para a elaboração da Carta de Suscetibilidade a Movimentos de Massa, primariamente, foram gerados mapas para os cinco fatores condicionantes considerados: Declividade, Litologia, Uso do Solo, Curvatura Vertical (Perfil da Encosta) e Densidade de Lineamentos. Os mapas supracitados foram classificados individualmente, com o Grau Numérico variando de 1 a 5 associado ao Grau Descritivo que varia de Muito Baixo, Baixo, Moderado, Alto a Muito Alto, respectivamente; e o peso atribuído para o cálculo do Índice de Suscetibilidade (Tabela 4).

O Índice de Suscetibilidade (IS) foi obtido a partir da somatória de cada parâmetro multiplicado por seu peso da seguinte forma: 50% para Declividade, 10% para Litologia, 20% para o Uso e Cobertura; 10% para Curvatura Vertical (Perfil da encosta) e 10% para a Densidade de Lineamentos, exposto na fórmula a seguir:

$$IS = (R_{dec} * 0,5) + (R_{lito} * 0,1) + (R_{uso} * 0,2) + (R_{curv} * 0,1) + (R_{lin} * 0,1) \quad [\text{Equação 1}]$$

Onde:

R_{dec} = grau numérico do fator condicionante Declividade

R_{lit} = grau numérico do fator condicionante Litologia

R_{uso} = grau numérico do fator condicionante Uso do Solo

R_{curv} = grau numérico do fator condicionante Curvatura Vertical (Perfil da encosta)

R_{lin} = grau numérico do fator condicionante Densidade de Lineamentos

Tabela 4 - Fatores Condicionantes do Processo de Movimento Gravitacional de Massa, graus de risco numérico e descritivo e os respectivos pesos atribuídos.

Fator Condicionante	Classe	Grau de Risco		Peso do Fator condicionante
		Númérico	Descritivo	
Declividade	0% - 5%	1	Muito Baixo	50%
	5% - 12%	2	Baixo	
	12% - 30%	3	Moderado	
	30% - 47%	4	Alto	
	>47%	5	Muito Alto	
Litologia	Granitos; Granodioritos; Rochas calcossilicatadas	1	Muito Baixo	10%
	Rochas sedimentares não consolidadas; Anfibolitos	3	Moderado	
	Dioritos; Quartzitos; Micaxisto e/ou meta-arenito; Anfibolitos bandados	4	Alto	
	Aluviões; Filitos e/ou metassiltitos; Migmatitos e Gnaisses Graníticos	5	Muito Alto	
Uso do Solo	Área Urbana	1	Muito Baixo	20%
	Floresta	2	Baixo	
	Solo Exposto	5	Muito Alto	
Curvatura Vertical	Convexo	2	Baixo	10%
	Retilíneo	3	Moderado	
	Côncavo	4	Alto	
Densidade de Lineamentos (lineamento/km ²)	0 a 65	1	Muito Baixo	10%
	65 a 120	2	Baixo	
	120 a 176	3	Moderado	
	176 a 231	4	Alto	
	231 a 287	5	Muito Alto	

Fonte: Elaboração Própria.

5.2.1. Mapa de Declividade

O Mapa de Declividade foi processado a partir do Modelo Digital de Elevação do terreno com a utilização da ferramenta *Slope* encontrada em *Menu Processar > Caixa de Ferramentas > r.slope.aspect > Elevation - seleccionar arquivo > Format for reporting the slope [optional] - percent > Salvar > Executar*.

Os intervalos de classes adotados para a reclassificação foram de acordo com os intervalos propostos por De Biasi (1992), organizados na Tabela 5:

Tabela 5 - Intervalos de Declividade de acordo com De Biasi (1992) e grau de risco associado.

Intervalos de Declividade (%)	Grau de Risco
0 – 5	Muito Baixo
5 – 12	Baixo
12 – 30	Moderado
30 – 47	Alto
>47	Muito Alto

Fonte: De Biasi, 1992.

5.2.2. Mapa de Litologia

O Mapa Geológico foi classificado em classes litológicas que foram divididas na categorização do *shapefile* de acordo com o campo “descrição” da tabela de atributos, clicando com o botão direito do mouse na camada *Propriedades > Simbologia > Categorizado - Descrição > Classificar > OK*.

A cada litotipo classificado, foi atribuído um valor de acordo com o grau de suscetibilidade a movimentos de massa de cada um através da inserção de mais um campo na tabela de atributos chamado “risco” preenchido com os valores de risco para cada classe litológica.

Onde para granitos não metamorizados o grau de risco atribuído foi igual a 2, para anfíbolitos foi atribuído o grau de risco igual a 3, para argilas, areias, cascalhos, micaxistos, migmatitos e filitos foi atribuído o grau de risco igual a 4 e para os aluviões fluviais foi atribuído um grau de risco igual a 5.

Foi utilizada também a ferramenta *GDAL > Conversão de vetor > Converter vetor para raster (rasterizar)* com o objetivo de converter o *shapefile* do formato vetorial para o formato raster, para que o mesmo se torne compatível com a ferramenta “Calculadora Raster” que foi utilizada posteriormente para a elaboração da Carta de Suscetibilidade a Movimentos de Massa.

5.2.3. Mapa de Uso do Solo

Para a criação do Mapa de Uso do Solo foram elaboradas algumas etapas, das quais, houve a preparação dos arquivos, a instalação do complemento (*plug-in*) “*Semi - Automatic Classification Plugin*”, o pré-processamento (correção atmosférica), a coleta de amostra de pixels e, por fim, a geração do mapa de uso do solo.

A instalação do complemento é realizada em *Menu Complementos > Gerenciar e Instalar Complementos > Tudo > Semi - Automatic Classification Plugin > Instalar*, permitindo então o próximo passo de pré-processamento para correção atmosférica abrindo-se as bandas na janela do *SCP Dock > Preprocessing > Landsat > Selecionar o diretório das bandas Landsat > Selecionar Apply DOS1 atmospheric correction > Run > Salvar*.

Com isto, foi realizado o empilhamento de bandas, para a coleta de amostras de pixels (treinamento), com a junção das bandas na janela do plugin, onde as bandas de 2 a 7 foram carregadas na aba *Band set > Quick Wavelength Landsat OLI [bands 2, 3, 4, 5, 6, 7] > Selecionar Create a raster of band set (stack bands) > Run > Salvar*.

A partir da imagem gerada no menu da camada clicando com o botão direito do mouse *Propriedades > Simbologia > Tipo de renderização - Multibanda colorida > Banda Vermelha - Banda 5 > Banda verde - Banda 4 > Banda azul - Banda 3* foi feita a combinação de falsas cores: Infravermelho e através do mesmo caminho também foram combinadas as bandas 4, 3 e 2, nos canais vermelho, verde e azul, respectivamente, para cores naturais e outras combinações de bandas que permitissem melhor visualização da assinatura espectral de interesse.

O arquivo com as bandas empilhadas então foi utilizado na etapa de coleta de amostras de pixels (treinamento), sendo aberta através do *plug-in* na aba *Band set > Open file > Selecionar o arquivo recortado > Abrir > Quick wavelength settings > Landsat 8 OLI [2, 3, 4, 5, 6, 7] > Fechar janela*. Depois de aberta a imagem de interesse, foi criada uma nova área de treinamento na janela *SCP & Dock > Training input > Create a new training input >*

Salvar fazendo com que seja adicionada uma camada ao projeto na qual serão adicionados polígonos para as classes de uso de solo desejadas a partir da ferramenta *Create a ROI Polygon*.

Por fim, foi gerado o Mapa de Uso e Cobertura do solo, a partir da classificação da imagem feita na janela do plugin aba *Classification > Selecionar MD ID > Run > Salvar*.

Após a classificação da imagem, foram incorporados os dados de Aglomerados Subnormais do IBGE ao mapa de Uso do Solo.

5.2.4. Mapa de Curvatura Vertical

Para o processamento do Mapa de Curvatura Vertical foi utilizada a imagem SRTM e a ferramenta *r.slope.aspect* a partir da *Caixa de ferramentas > GRASS > Raster > r.slope.aspect - Gerar camadas raster de declividade > Elevation > Selecionar SRTM > Deixar caixa selecionada em Profile Curvature > Desmarcar demais caixas > Salvar > Executar* fazendo com que o mapa seja aberto no projeto.

5.2.5. Mapa de Densidade de Lineamentos

O processamento do Mapa de Densidade de Lineamentos foi dividido em duas etapas. Foi primeiramente carregada a imagem SRTM e a partir disto foram acessadas as propriedades da camada clicando com o botão direito do mouse *Propriedades > Simbologia > Tipo de renderização > Sombreamento > Altitude - 45° > Azimute - 0°, 45°, 90°, 315° > Fator Z: 2 > OK* onde o mapa resultante mostra o relevo da área. Foram utilizadas quatro direções de iluminação, onde a de azimute 0° evidencia os vales e cristas na direção Leste-Oeste, a 45° evidencia vales e cristas na direção Noroeste-Sudeste, a 90° evidencia vales e cristas na direção Norte-Sul e a 315° evidencia vales e cristas na direção Nordeste-Sudoeste, para que desta maneira os lineamentos em diversas direções possam ser melhor visualizados e interpretados.

A partir daí foi criado um novo *shapefile* em formato de linha a partir da ferramenta *Alternar edição > Adicionar nova feição de linha* permitindo a interpretação dos lineamentos de acordo com as direções dos azimutes. Depois de interpretados os lineamentos esse *shapefile* em formato linha foi transformado em um *shapefile* em formato de pontos a partir do acesso ao menu *Processar > caixa de ferramentas > SAGA > Vector point tools >*

Convert line to points > Lines > shapefile de interesse > Seleccionar Insert additional points > Insert Distance - 50 > Salvar > Executar.

Com o *shapefile* transformado em pontos então abre-se o menu *Processar > Caixa de ferramentas > SAGA > Raster creation tools > Kernel density estimation > Seleccionar camada de interesse > Seleccionar recorte > Radius - 2000 > Cellsize - 30 > Salvar > Executar* daí então o *shapefile* de interesse será criado.

5.2.6. Carta de Suscetibilidade

Após a elaboração dos mapas dos cinco fatores condicionantes foi calculada a Carta de Suscetibilidade a partir da álgebra destes cinco mapas, utilizando a ferramenta Calculadora Raster encontrada no *Menu Raster > Calculadora Raster* seguindo a Equação 1 (Figura 3).

Figura 3 – Ferramenta Calculadora Raster do programa QGIS.

Calculadora Raster

Raster Bands

- curvatura_reclass@1
- declividade_reclass@1
- lineamento_reclass@1
- lito_reclass@1
- uso_sbn_reclass@1

Result Layer

Camada de saída: Carta de Suscetibilidade

Formato de saída: GeoTIFF

Selected Layer Extent

X min: 331634,40490 X max: 356324,40490

Y min: 7348402,45040 Y max: 7384612,45040

Colunas: 823 Linhas: 1207

SRC de saída: EPSG:31983 - SIRGAS 2000 / UTM zon

☒ Adicionar resultado ao projeto

Operadores

Raster Calculator Expression

("declividade_reclass@1" * 0,5) + ("lito_reclass@1" * 0,1) + ("uso_sbn_reclass@1" * 0,2) + ("curvatura_reclass@1" * 0,1) + ("lineamento_reclass@1" * 0,1)

Expressão inválida

OK Cancel Help

Fonte: Elaboração Própria.

6. RESULTADOS

6.1 Mapa de Declividade

O Mapa de Declividade mostra o predomínio de regiões com Declividades de 5% a 12% e 12% a 30%, sendo estas regiões de Risco Baixo (Grau de Risco Numérico 2) e Risco Moderado (Grau de Risco Numérico 3), respectivamente. Da área total do mapa, 67% são representados pelas classes predominantes supracitadas, seguido de 26,6% de Regiões de Risco Muito Baixo (Grau de Risco Numérico 1), sendo que somente em 6,4% do território se encontra áreas de Risco Alto (Grau de Risco Numérico 4) e Muito Alto (Grau de Risco Numérico 5) (Tabela 6) (Figura 4).

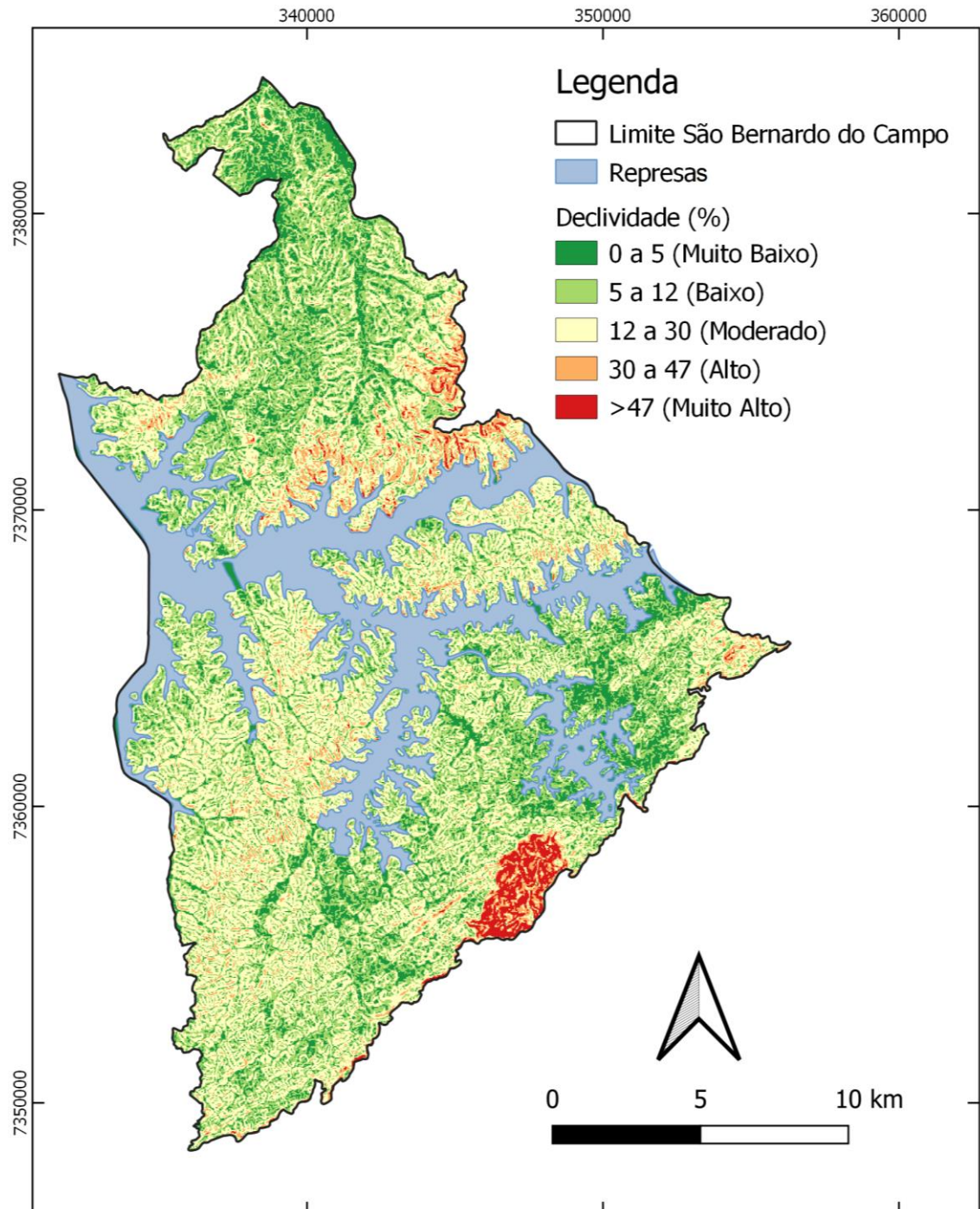
As maiores declividades no município de São Bernardo do Campo são encontradas na porção Nordeste do município em Zona de Área Urbana Consolidada e de Zona Urbana em Estruturação, em alguns pontos específicos na porção central às margens da Represa Billings, na Zona de Manejo Sustentável e também ao Sul do território em parte da escarpa da Serra do Mar, na Zona de Proteção Ambiental.

Tabela 6 - Classes de declividade associadas ao Grau de Risco e suas porcentagens em área.

Classes de Declividade	Risco	% de área
0% a 5%	1	26,6
5% a 12%	2	30,4
12% a 30%	3	36,6
30% a 47%	4	4,9
>47%	5	1,5
Total		100

Fonte: Elaboração própria.

Figura 4 - Mapa de Declividade do Município de São Bernardo do Campo - SP.



Fonte: Elaboração própria.

6.2 Mapa Litológico

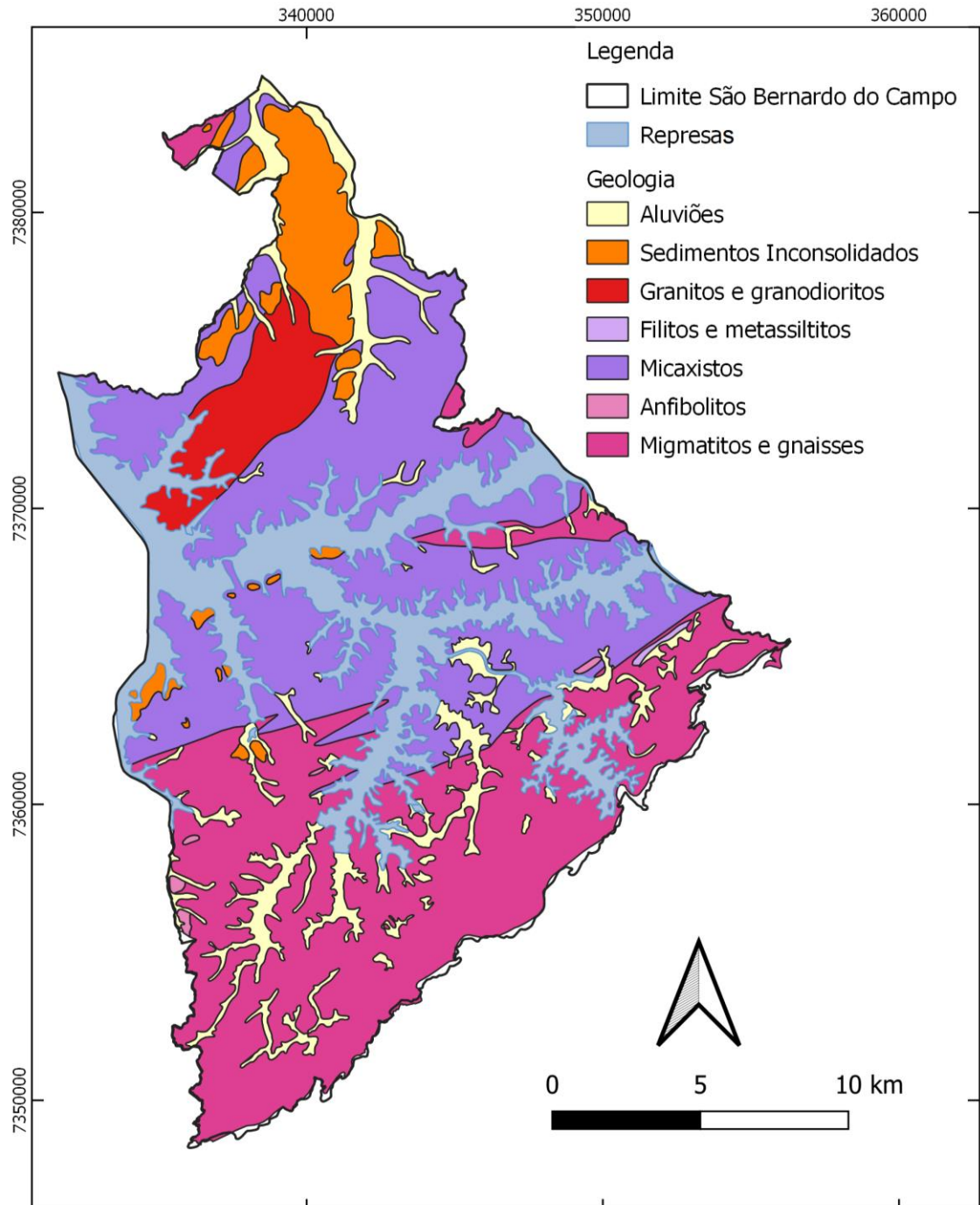
No município de São Bernardo do Campo são encontrados os seguintes litotipos: Aluviões Fluviais (Argilas, Areias e Cascalhos), Sedimentos Inconsolidados, Granitos e Granodioritos, Filitos e Metassilitos, Micaxistos, Anfibolitos, Migmatitos e Gnaisses Graníticos. A porção Norte (Macrozona Urbana Consolidada) do município se encontra em área de aluviões, sedimentos inconsolidados, granitos e micaxistos, sendo que a Macrozona de Proteção Ambiental, na porção Sul do município, é composta majoritariamente por micaxistos, migmatitos e gnaisses que apresentam Risco Alto (Grau de Risco Numérico 4) sendo o litotipo dominante da área, ocupando 83,62% do território (Tabela 7) (Figura 5).

Tabela 7 - Classes litológicas associada ao Grau de Risco e suas porcentagens em área.

Classe litológica	Risco	% de área
Granitos e Granodioritos	2	5,59
Anfibolitos	3	0,26
Sedimentos inconsolidados, filitos, micaxistos, migmatitos e gnaisses	4	83,62
Aluviões Fluviais	5	10,53
Total		100

Fonte: Elaboração própria.

Figura 5 - Mapa litológico do Município de São Bernardo do Campo – SP.



Fonte: Coutinho, 1980.

6.3 Mapa de Uso do Solo

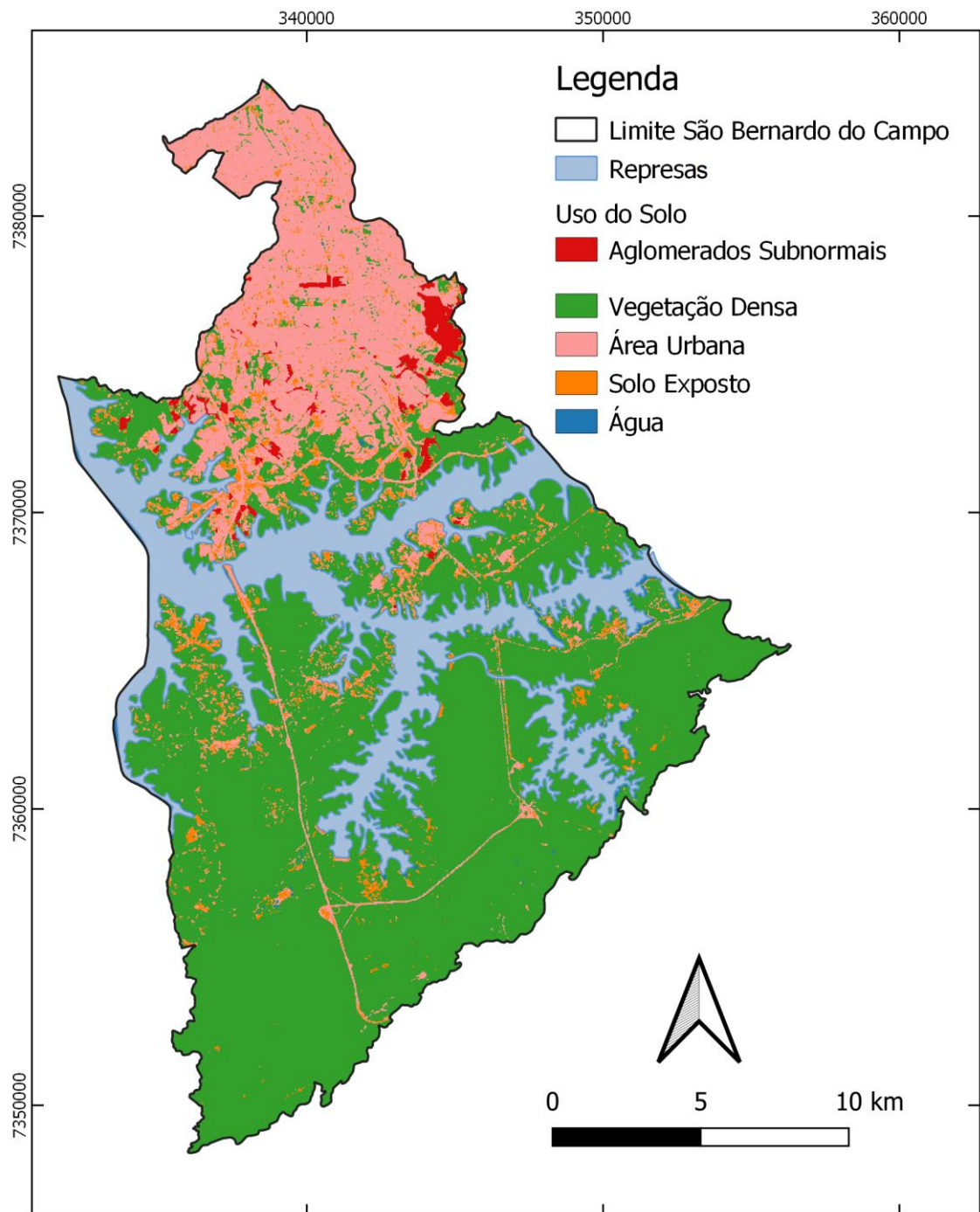
O Mapa de Uso e Cobertura do Solo mostra a predominância de Vegetação Densa na porção Sul do município com abrangência de 71,43% apresentando Risco Baixo (Grau de Risco Numérico 2), seguido da predominância de Área Urbana Consolidada na porção Norte do município (22,10%), que apresenta Risco Muito Baixo (Grau de Risco Numérico 1). Existem relativamente poucas áreas de solo exposto e aglomerados subnormais, totalizando Risco Muito Alto (Grau de Risco Numérico 5) em somente em 6,47% do território municipal (Tabela 8) (Figura 6).

Tabela 8 - Classes de uso do solo associadas ao Grau de Risco e suas porcentagens em área.

Classes de uso do solo	Risco	% de área
Área urbana consolidada	1	22,10
Vegetação densa	2	71,43
Solo exposto	5	4,92
Aglomerados subnormais	5	1,55
Total		100

Fonte: Elaboração própria.

Figura 6 - Mapa de Uso do Solo do Município de São Bernardo do Campo –SP.



Fonte: Elaboração própria.

6.4 Mapa de Curvatura Vertical

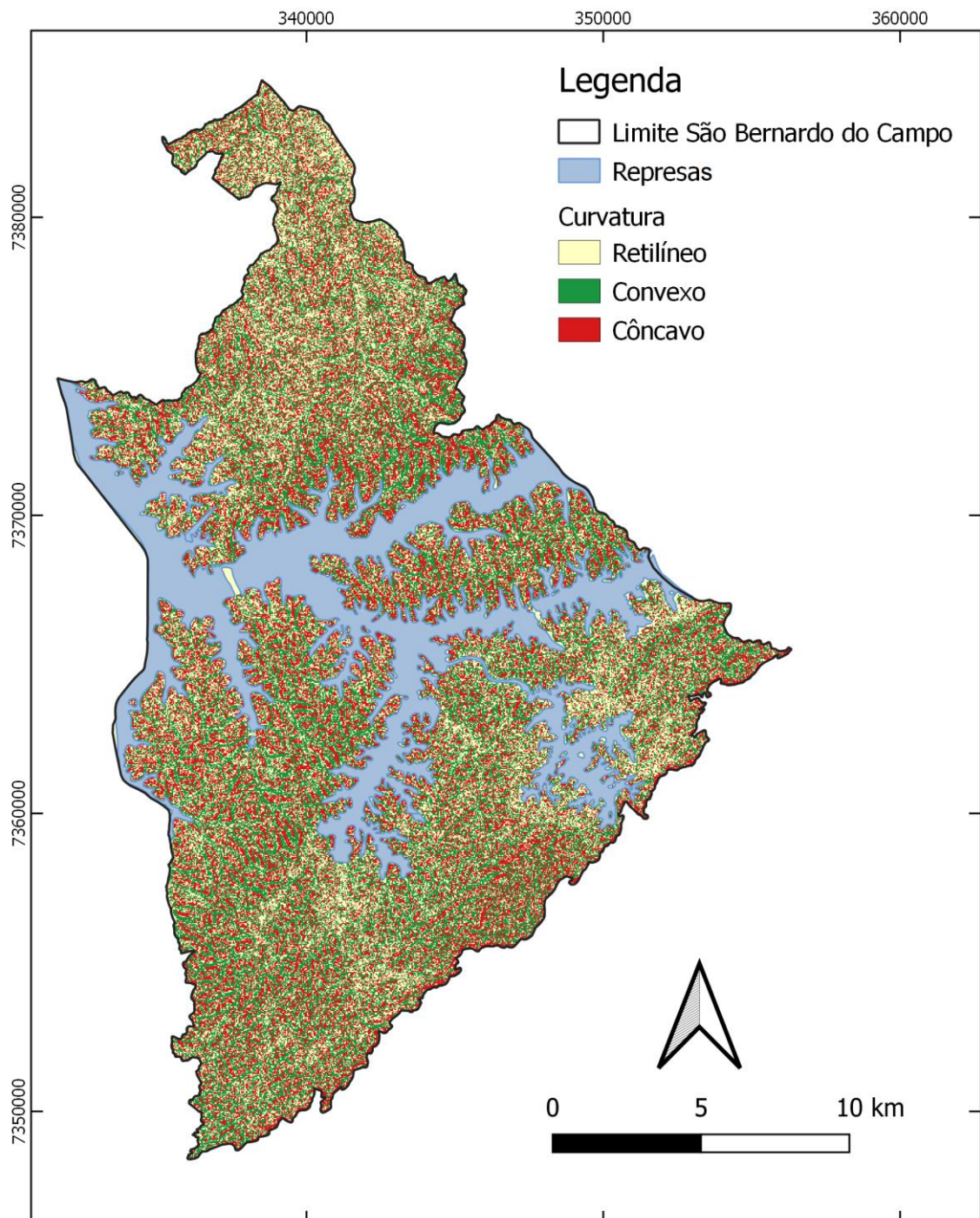
O território de São Bernardo do Campo apresenta distribuição quase equitativa entre as curvaturas verticais das vertentes. Desta maneira o Mapa de Curvatura Vertical (Perfil da Encosta) mostra o predomínio de vertentes com curvatura retilínea em 38% do território municipal, apresentando Risco Baixo (Grau de Risco Numérico 2), seguida de curvaturas com perfil Convexo, que apresenta Risco Médio (Grau de Risco Numérico 3) em 33,03% do território e também apresenta 28,97% do território em áreas com Perfil da Encosta Côncavo, apresentando Risco Alto (Grau de Risco Numérico 4) de acordo com a Tabela 9 e Figura 7.

Tabela 9 - Classes de curvatura associadas ao Grau de Risco e suas porcentagens em área.

Curvatura	Risco	% de área
Retilínea	2	38,00
Convexo	3	33,03
Côncavo	4	28,97
Total		100

Fonte: Elaboração própria.

Figura 7 - Mapa de Curvatura Vertical do Município de São Bernardo do Campo – SP.



Fonte: Elaboração própria.

6.5 Mapa de Densidade de Lineamentos

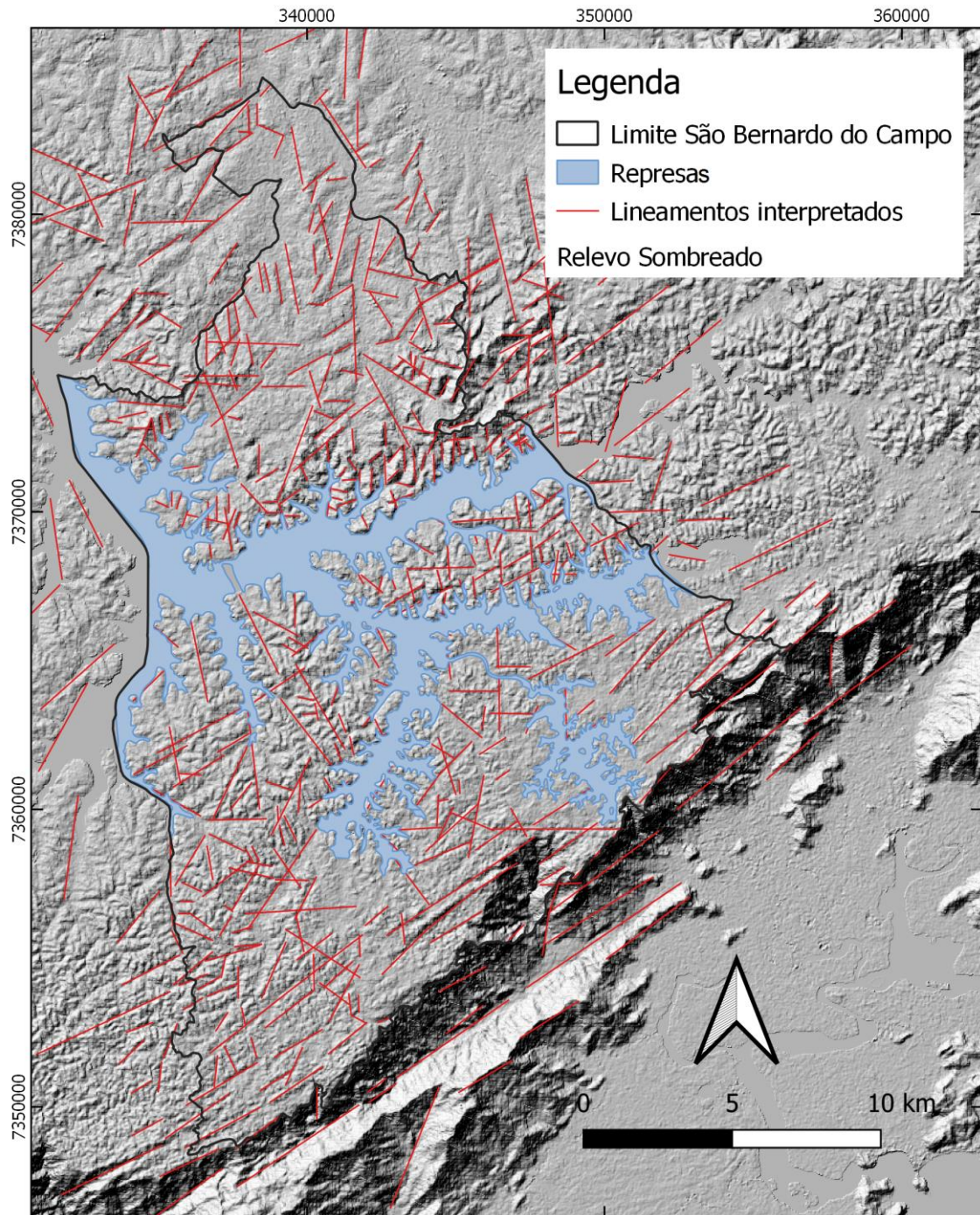
O mapa de Lineamentos mostra o predomínio daqueles de direções NE-SW e E-W. O mapa de Densidade de Lineamentos mostra a predominância de áreas de Risco Moderado (Grau de Risco Numérico 3) abrangendo 38,38% do território seguido de áreas de Risco Alto (Grau de Risco Numérico 4) em 28,04% do território. Do total, as áreas caracterizadas em Risco Muito Baixo (Grau de Risco Numérico 1) e Risco Muito Alto (Grau de Risco Numérico 5) são as que apresentam menores porcentagens do terreno, abrangendo 3,18% e 9,17%, respectivamente, como pode ser observado na Tabela 10 e nas Figuras 8 e 9.

Tabela 10 - Densidade de Lineamento e suas porcentagens em área.

Densidade de Lineamentos (lineamentos/km²)	Risco	% de área
0 – 65	1	3,18
65 – 120	2	21,23
120 – 176	3	38,38
176 – 231	4	28,04
231 – 287,4	5	9,17
Total		100

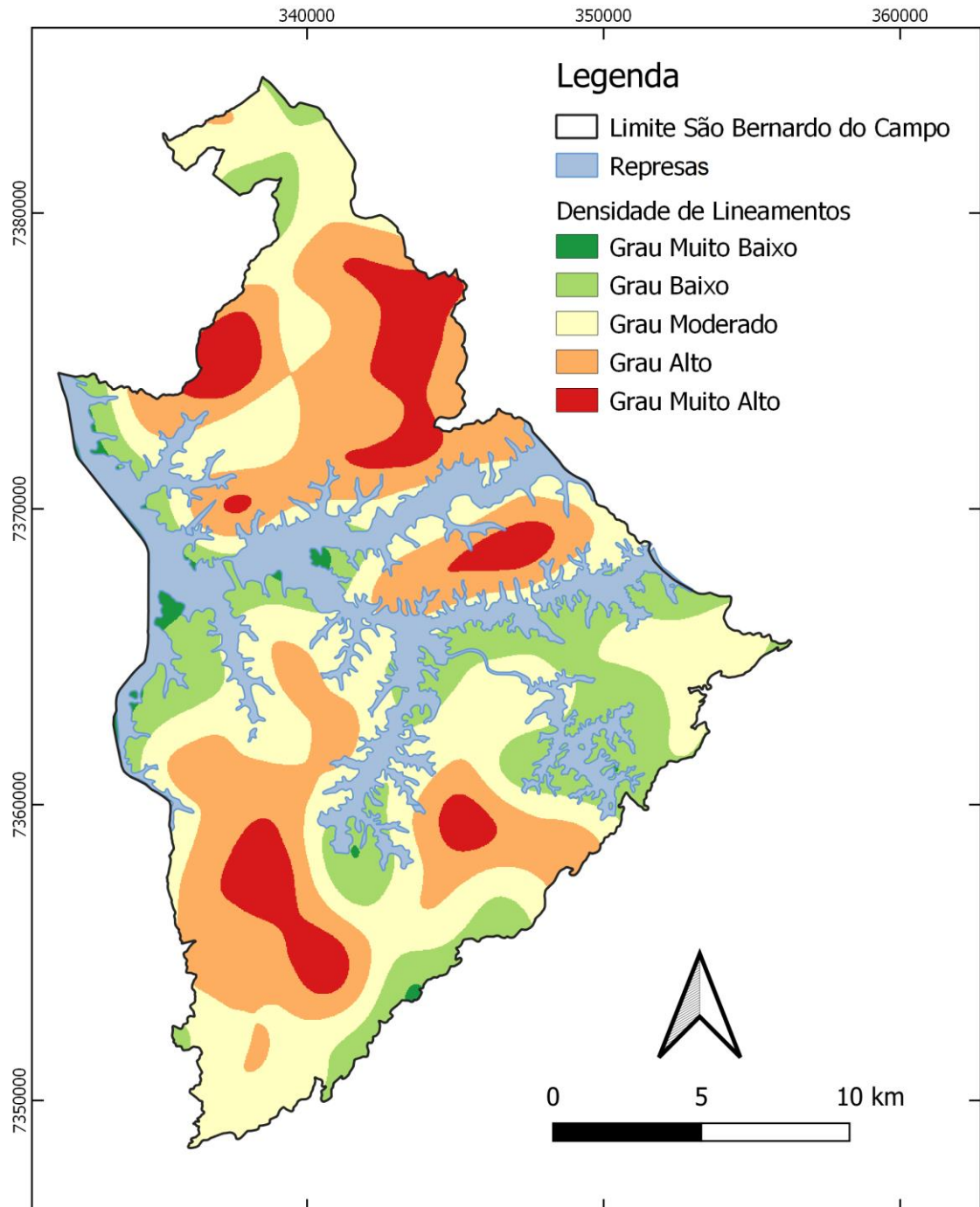
Fonte: Elaboração própria.

Figura 8 - Mapa dos Lineamentos do Município de São Bernardo do Campo – SP.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 9 - Mapa da Densidade de Lineamentos do Município de São Bernardo do Campo – SP.



Fonte: Elaboração própria.

6.6 Carta de Suscetibilidade

A Carta de Suscetibilidade mostra o predomínio de regiões de Suscetibilidade Baixa (67,82%), havendo também 26,69% do território incluso em áreas de Suscetibilidade Moderada e somente 5,49% do território em áreas de Suscetibilidade Alta, como exposto na Tabela 11 e Figura 10.

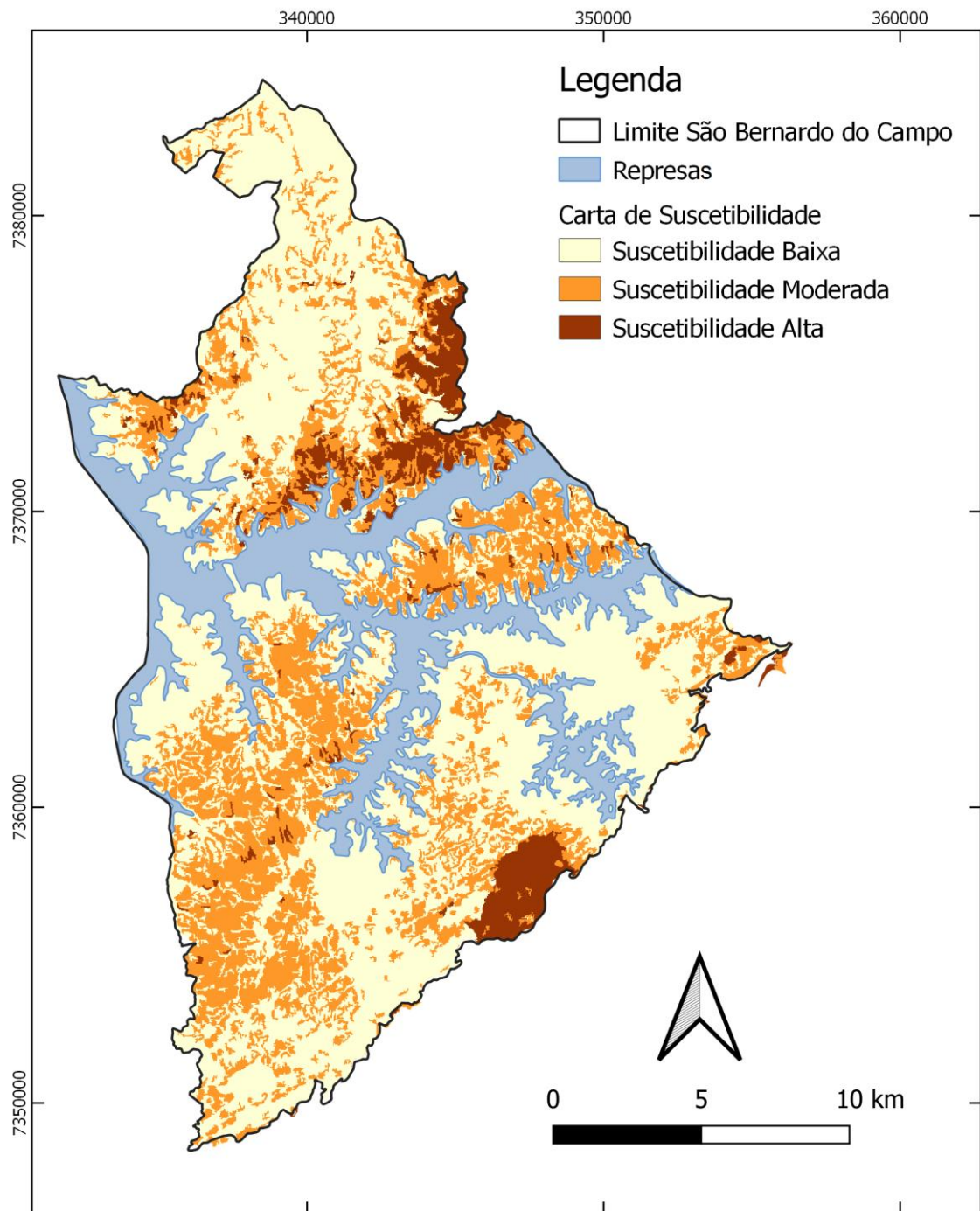
Tabela 11 - Classes de suscetibilidade e suas porcentagens em área.

Classe de suscetibilidade	% de área
Suscetibilidade baixa	67,82
Suscetibilidade média	26,69
Suscetibilidade alta	5,49
Total	100

Fonte: Elaboração própria.

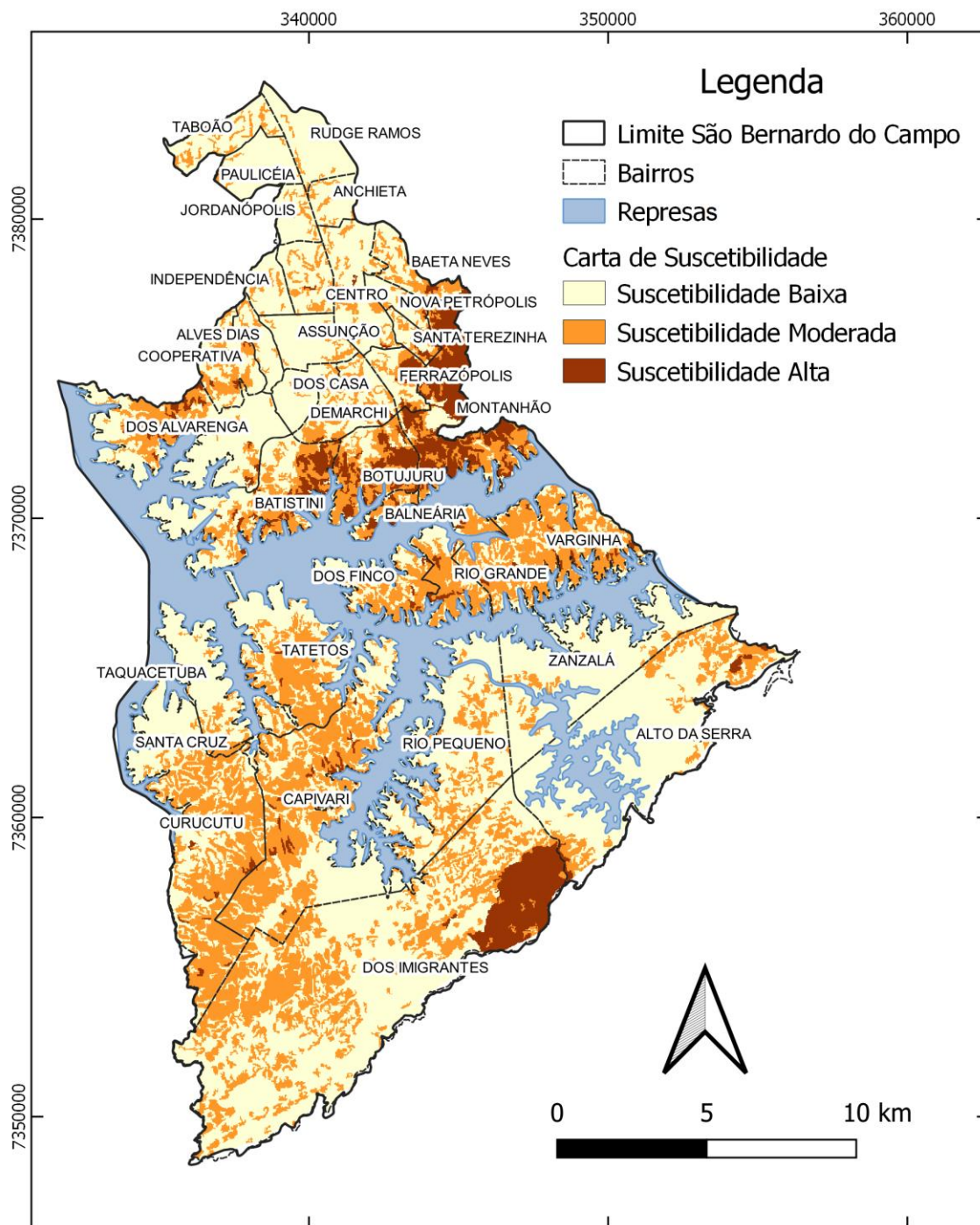
Dos 34 bairros de São Bernardo do Campo, 19 possuem áreas identificadas como de Suscetibilidade Alta a Movimentos Gravitacionais de Massa. São eles: Montanhão, Santa Terezinha, Ferrazópolis, Baeta Neves, Botujuru, Balneária, Batistini, Dos Imigrantes, Planalto, Centro, Nova Petrópolis, Cooperativa, Varginha, Rio Grande, Dos Finco, Tatetos, Capivari, Curucutu e Alto da Serra (Figura 11).

Figura 10 - Carta de Suscetibilidade a Movimentos de Massa do Município de São Bernardo do Campo – SP.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 11 – Mapa dos Bairros de São Bernardo do Campo



Fonte: Elaboração própria.

Através da sobreposição da Classe de Suscetibilidade Alta com o Mapa de Uso do Solo (Figura 12), pode-se observar que dos 19 bairros supracitados, somente 15 estão em áreas de ocupação urbana que possuem áreas de Suscetibilidade Alta (Tabela 12) e, portanto, podem

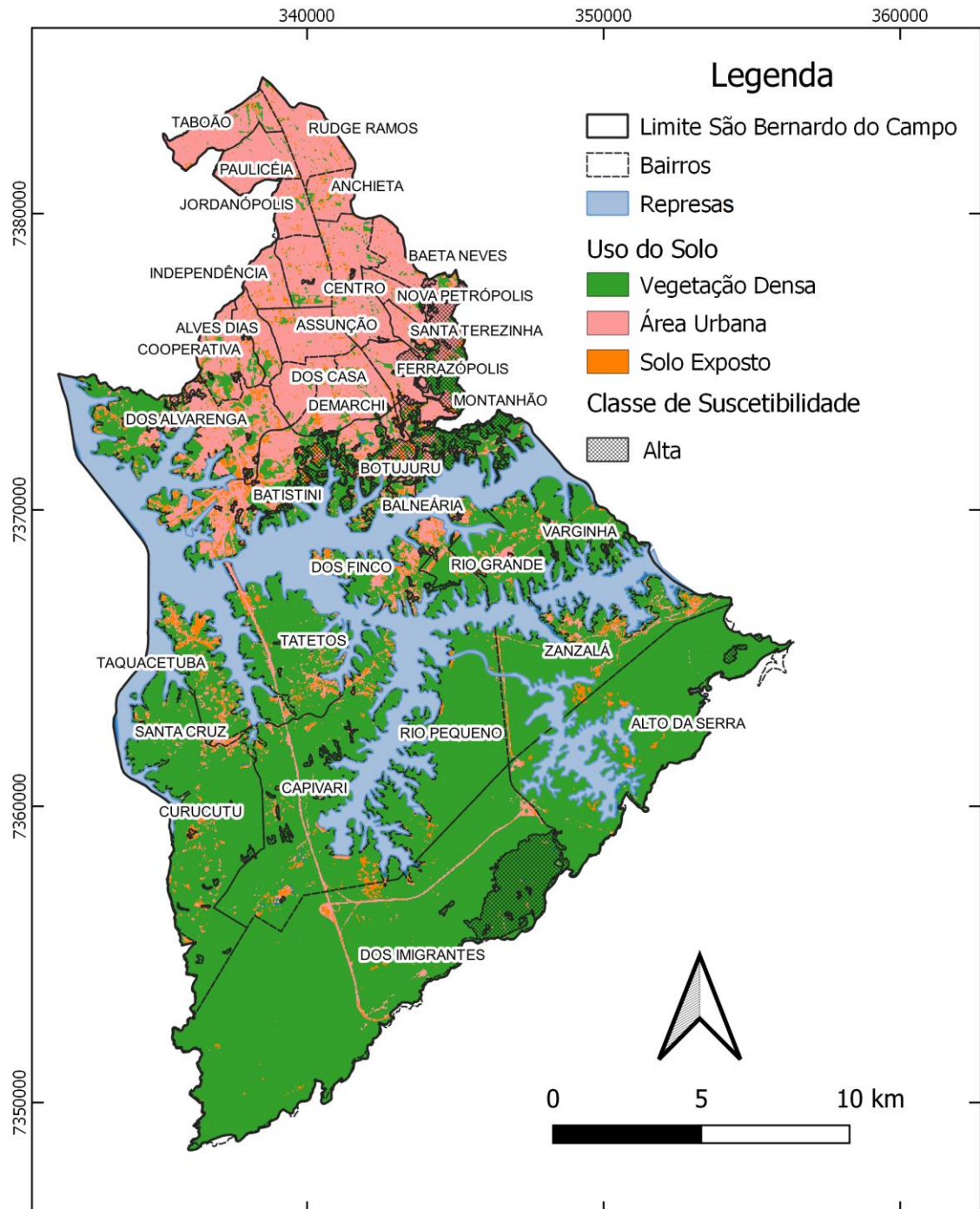
apresentar riscos aos bens, às propriedades e às vidas humanas, sendo então, recomendado que nessas localidades sejam realizados acompanhamento da Prefeitura e da Defesa Civil objetivando a segurança dos munícipes; Os demais bairros, por possuírem Uso do Solo predominante de Vegetação Densa ou Solo Exposto, não oferecem riscos às populações vulneráveis.

Tabela 12 – Bairros em área urbana cometidos por áreas de Suscetibilidade Alta.

Suscetibilidade	Bairros
Alta	Montanhão, Santa Terezinha, Ferrazópolis, Baeta Neves, Botujuru, Balneária, Batistini, Planalto, Centro, Nova Petrópolis, Cooperativa, Varginha, Rio Grande, Dos Finco e Capivari.

Fonte: Elaboração Própria.

Figura 12 – Suscetibilidade Alta em Área Urbana.

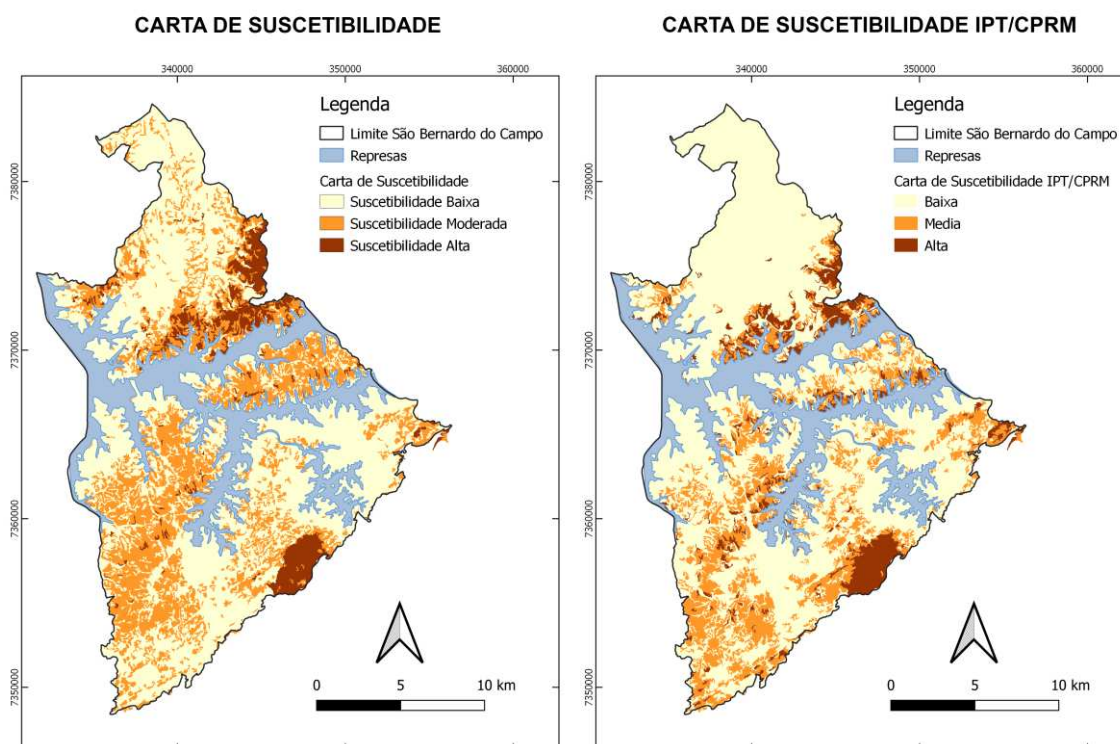


Fonte: Elaboração própria.

7. VALIDAÇÃO DO MAPA

Através da comparação das áreas abrangidas pelas classes de suscetibilidade entre a carta de suscetibilidade obtida como resultado neste trabalho e a carta de suscetibilidade elaborada pelo IPT/CPRM (Figura 13), observa-se que há extrema semelhança entre os dois mapas. A classe de Suscetibilidade Baixa ocupou 67,83% da área do município na carta elaborada e 74,56% na carta do IPT/CPRM, o que resultou em uma semelhança de 91%, enquanto a classe de Suscetibilidade Moderada ocupou 26,68% de área do município na carta elaborada e 18,17% na carta do IPT/CPRM apresentando semelhança de 68% e a classe de Suscetibilidade Alta, ocupou 5,49% da área do município na carta de suscetibilidade elaborada e 7,27% na carta de suscetibilidade do IPT/CPRM resultando em uma semelhança de aproximadamente 75% (Tabelas 14 e 15).

Figura 13 – Cartas de Suscetibilidade comparadas.



Fonte: Elaboração própria.

Tabela 13 – Área em Km² de cada Classe de Suscetibilidade.

Classe de Suscetibilidade	Carta de Suscetibilidade Elaborada (Km²)	Carta de Suscetibilidade do IPT/CPRM (Km²)
Suscetibilidade Baixa	274,22	304,88
Suscetibilidade Moderada	107,88	74,3
Suscetibilidade Alta	22,19	29,74

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 14 – Porcentagem de cada Classe de Suscetibilidade no território municipal.

Classe de Suscetibilidade	Carta de Suscetibilidade Elaborada (%)	Carta de Suscetibilidade do IPT/CPRM (%)
Suscetibilidade Baixa	67,83	74,56
Suscetibilidade Moderada	26,68	18,17
Suscetibilidade Alta	5,49	7,27

Fonte: Elaboração Própria.

8. CONCLUSÕES

Levando em consideração os percentuais de área e de semelhança entre as cartas de suscetibilidade comparadas, pode-se concluir que as mesmas apresentaram resultados compatíveis e suas variações se deram pela metodologia utilizada por cada autor. O método utilizado pelo IPT/CPRM requisitou trabalho manual de interpretação de fotografias aéreas, que exige além de técnicos bem treinados e experientes em interpretação, a disponibilidade de imagens de alta resolução e, portanto, de alto custo. Já o método utilizado neste trabalho se baseou em técnicas computadorizadas e imagens e dados obtidos gratuitamente, além de não exigir treinamento específico e experiência profunda em interpretação, tornando-o um método barato e de fácil replicação, que culminou em resultados similares.

De acordo com os resultados obtidos conclui-se que a utilização de ferramentas de geoprocessamento aliadas ao levantamento de áreas suscetíveis aos deslizamentos é de extrema importância na prevenção ou redução dos riscos causados pelos processos de movimento de massa. Portanto, sua utilização pelo Poder Público se torna indispensável para a formulação de políticas públicas objetivando reduzir os danos aos bens, propriedades e às vidas humanas causados por estes fenômenos nas grandes cidades.

Fazendo alusão aos argumentos discorridos no decorrer deste trabalho, sabe-se que os Movimentos Gravitacionais de Massa são processos geológicos influenciados por diversos fatores, tais como as estruturas geológicas locais, a curvatura das vertentes, o uso e ocupação do solo e outros, sendo então de grande valia o entendimento dos mesmos de maneira conjunta e também de maneira individual a fim do melhor dimensionamento de soluções situacionais.

Desta maneira, o Poder Público deve assegurar que não sejam ocupadas áreas de risco futuramente como forma de reduzir os danos materiais e imateriais oferecidos para as populações mais vulneráveis aos processos geológicos em questão. Às áreas de risco já ocupadas, seria cabível a realocação das populações vulneráveis ocupantes em locais geológico-geomorfológicamente seguros a fim da diminuição considerável do dano potencial às propriedades e vidas das pessoas.

9. REFERÊNCIAS

BATES, R. L.; JACKSON, J. A. **Glossary of Geology**. American Geological Institute. Falls Church, Virginia. 1987.

BIGARELLA, J.J.; PASSOS, E; **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Ed. Da UFSC, 2003, v.3 (p.877-1436).

BITAR, Omar Yazbek. **Guia Cartas Geotécnicas [livro eletrônico]: orientações básicas aos municípios**. Carlos Geraldo Luz de Freitas, Eduardo Soares de Macedo (org.). São Paulo: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2015. 28 p.

BRASIL. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. **Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências**. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília, DF, 10 jul. 2001. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LEIS_2001/L10257.htm> Acesso em 13 janeiro 2021.

BRASIL. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. **Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistemas de informações e monitoramento de desastres**. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília, DF, 10 abr. 2012. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm> Acesso em 13 janeiro 2021.

BRASIL. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios**. Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura, organizadores - Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, 2007. 176 p. ISBN 978-85-60133-81-9.

BRASIL. Lei nº 13.465, de 11 de julho de 2017. **Dispõe sobre a regularização fundiária rural e urbana, sobre a liquidação de créditos concedidos aos assentados da reforma agrária e sobre a regularização fundiária no âmbito da Amazônia Legal; institui mecanismos para aprimorar a eficiência dos procedimentos de alienação de imóveis da União.** Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2017/Lei/L13465.htm#art109> Acesso em 11 março 2021.

CARVALHO, C.M.De. **Avaliação da Suscetibilidade aos Movimentos de Massa nos entornos dos Polidutos de Cubatão (SP), com o apoio de técnicas de Geoprocessamento.** 2003. 94 f. Monografia (Graduação em Geologia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

CERRI, L. E. S. **Riscos geológicos associados a escorregamentos: uma proposta para prevenção de acidentes.** 1993. Rio Claro, 1993. 197 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

COUTINHO, J. M. V. 1980. **Carta geológica da Região Metropolitana da Grande São Paulo**, 1:100.000. EMPLASA, São Paulo. 2 folhas.

CRUZ, O. **A Serra do Mar e o litoral na área de Caraguatatuba-SP.** Série teses e monografias, Instituto de Geografia – USP, 1974.

DE BIASI, Mário. A Carta Clinográfica: Os métodos de representação e sua confecção. **Revista do Departamento de Geografia.** Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, v.6, 1992, p.17. ISSN 2236-2878. Disponível em < <http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47110>> Acesso em 13 janeiro 2021.

DIAS, Fernando Peres; HERRMANN, Maria Lúcia de Paula. Suscetibilidade a Deslizamentos: Estudo de caso no Bairro Saco Grande - Florianópolis - SC. **Revista Caminhos de Geografia**, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, n.3, vol. 6, p.57-73, 2002.

Farr, T. G., *et al.* (2007), **The Shuttle Radar Topography Mission**, Rev. Geophys., 45. Disponível em: <https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/SRTM_paper.pdf> Acesso em 3 de Junho de 2020.

FERNANDES, N.F.; AMARAL, C.P. Movimentos de massa: uma abordagem geológicogeomorfológica. In: Guerra, A.J. T & Cunha, S.B da (UFRS). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 3.ed. Rio de Janeiro, 2000. p.123-194.

FOLHA DE SÃO PAULO, São Paulo. **Deslizamentos matam 9 em São Bernardo**. 13 jan. 2005, IAVELBERG, F. M. C. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/fsp/cotidian/ff1301200501.htm>> Acesso em: 3 de setembro de 2020.

FONSECA, Leila Maria Garcia & FILHO, Clódís de Oliveira Andrades. **Lineamentos estruturais a partir de imagem Landsat TM e Dados SRTM**. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 2009, Natal. Anais... Natal: INPE, 2009.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas Encostas. In: GUERRA, A. J. T; DA CUNHA, S. B. **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos**. 3 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. p. 149-209.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **Aglomerados Subnormais 2019 - Resultados preliminares**. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/15788-aglomerados-subnormais.html?edicao=27720&t=acesso-ao-produto>> Acesso em 01 de julho de 2020.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2020. **Aglomerados subnormais: o que é**, Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/15788-aglomerados-subnormais.html?edicao=16119&t=o-que-e>> Acesso em 3 de setembro de 2020.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010. Aglomerados subnormais, Informações territoriais**. Ministério do Planejamento,

Orçamento e Gestão. Rio de Janeiro, IBGE, Brasil. 2013. ISSN 0104-3145.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **Panorama**. 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-bernardo-do-campo/panorama>. Acesso em: 22 maio 2020

INFANTI JUNIOR, N. & FORNASARI FILHO, N. **Processos de Dinâmica Superficial**. In: OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO, S.N.A. (Eds.). Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998. cap. 9, p.131-152.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2014. **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: 1:25.000 (livro eletrônico): nota técnica explicativa**. Brasília – DF. Disponível em: http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/16588/NT-Carta_Suscetibilidade.pdf?sequence=1 Acesso em 29 jan 2021.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. **Ocupação de encostas**. Coord. Cunha, M.A. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1991.

KANUNGO, D.P.; SARKAR S. **An Integrated Approach for Landslide Susceptibility Mapping Using Remote Sensing and GIS**. Photogrammetric engineering e Remote Sensing, maio 2004. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/209803158_An_Integrated_Approach_for_Landslide_Susceptibility_Mapping_Using_Remote_Sensing_and_GIS Acesso em: 3 de setembro de 2020.

Kavzoglu, T.; Sahin E. K.; Colkesen, I. **Landslide susceptibility mapping using GIS-based multi-criteria decision analysis, support vector machines, and logistic regression**. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/257496910_Landslide_susceptibility_mapping_using_GIS-based_multi-criteria_decision_analysis_support_vector_machines_and_logistic_regression Acesso em: 3 de setembro de 2020.

KOZCIAK, S. **Análise Determinística da Estabilidade de Vertentes na Bacia do Rio Marumbi – Serra do Mar – Paraná.** Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

LORENZI, Giordano Von Saltiél. **Formulação Micromecânica do comportamento poroelástico de um maio rochoso fraturado.** 2013. 137 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

MundoGEO, 2020. **IBGE disponibiliza dados sobre Aglomerados Subnormais do país,** Disponível em: <<https://mundogeo.com/2020/05/28/ibge-disponibiliza-dados-sobre-aglomerados-subnormais-do-pais/>> Acesso 2 de junho de 2020.

NASA - National Aeronautics and Space Administration. Photojournal. **PIA18813: Tanzania Images Highlight Improvements in Full-Resolution SRTM Africa Data.** Disponível em: <<https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA18813>> Acesso em: 2 de junho de 2020.

OSGeo - Open Source Geospatial Foundation, **Descubra o QGIS.** Disponível em: <https://www.qgis.org/pt_BR/site/about/index.html> Acesso em 01 de julho de 2020a.

OSGeo – Open Source Geospatial Foundation, QGIS Geographic Information System, **Guia do usuário.** Disponível em: <https://docs.qgis.org/3.10/pt_BR/docs/user_manual/preamble/features.html> Acesso em 01 de Julho de 2020b.

PENTEADO M. M.; **Fundamentos de Geomorfologia.** Rio de Janeiro, IBGE, 1974. 158p.

PICANÇO, Jefferson. **Movimentos gravitacionais de massa, tragédias de verão.** Scientific American Brasil, Editora Segmento, São Paulo, 2010. Disponível em: <<https://sciam.uol.com.br/movimentos-gravitacionais-de-massa-tragedias-de-verao/>> Acesso em: 22 de julho de 2020.

PINTO, Roberto Carlos; PASSOS, Everton; CANEPARO, Sony Cortese. Considerações a respeito dos condicionantes utilizados em pesquisa envolvendo movimentos de massa. **GeoIngá: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia,** Maringá, v.5,n. 1, p.102-124. 2013. Disponível em <

<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/Geoinga/article/view/49211>> Acesso em 13 janeiro 2021.

PMSBC – Prefeitura Municipal de São Bernardo do Campo. **CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL - SÃO BERNARDO DO CAMPO:** Uma breve Caracterização dos Aspectos Ambientais do Município de São Bernardo do Campo, São Bernardo do Campo - SP, 2019, 32 páginas. Disponível em: <https://www.saobernardo.sp.gov.br/documents/895750/896331/caracterizacao_ambiental_base_20190404.pdf/15be39ea-bbdd-954a-b804-c4fd70545a41> Acesso em: 3 de setembro de 2020.

SÃO BERNARDO DO CAMPO. Lei Municipal nº 6.184/11, de 21 de Dezembro de 2011. Dispõe Sobre a Aprovação do Plano Diretor do Município de São Bernardo do Campo, e dá Outras Providências. **Diário Oficial do Município de São Bernardo do Campo**, Poder Legislativo Municipal, São Bernardo do Campo, SP, de 21 de Dezembro de 2011. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/sp/s/sao-bernardo-do-campo/lei-ordinaria/2011/618/6184/lei-ordinaria-n-6184-2011-dispoe-sobre-a-aprovacao-do-plano-diretor-do-municipio-de-sao-bernardo-do-campo-e-da-outras-providencias>>. Acesso em: 22 maio 2020.

TERRA, São Paulo. **Cidades do ABC têm mortes e enfrentam manhã de caos após fortes chuvas.** 11 mar. 2019. Disponível em: <<https://www.terra.com.br/noticias/brasil/cidades/cidades-do-abc-tem-mortes-e-enfrentam-manha-de-caos-apos-fortes-chuvas,85d76572722dcd47a22ab524d00c0b70v71d8evs.html>> Acesso em: 3 de setembro de 2020.

TOMINAGA, L.K. **Avaliação de metodologias de análise de risco a escorregamentos: aplicação de um ensaio em Ubatuba, SP.** 2007. 240f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

TOMINAGA, L.K; SANTORO, J; DO AMARAL, R. **Desastres naturais: conhecer para prevenir.** São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 196p.

UN-ISDR. **Terminology: Basic terms of disaster risk reduction**. New York, 2004. Disponível em: < http://www.preventionweb.net/files/7817_7819isdrterminology11.pdf>. Acesso em 13 janeiro 2021.

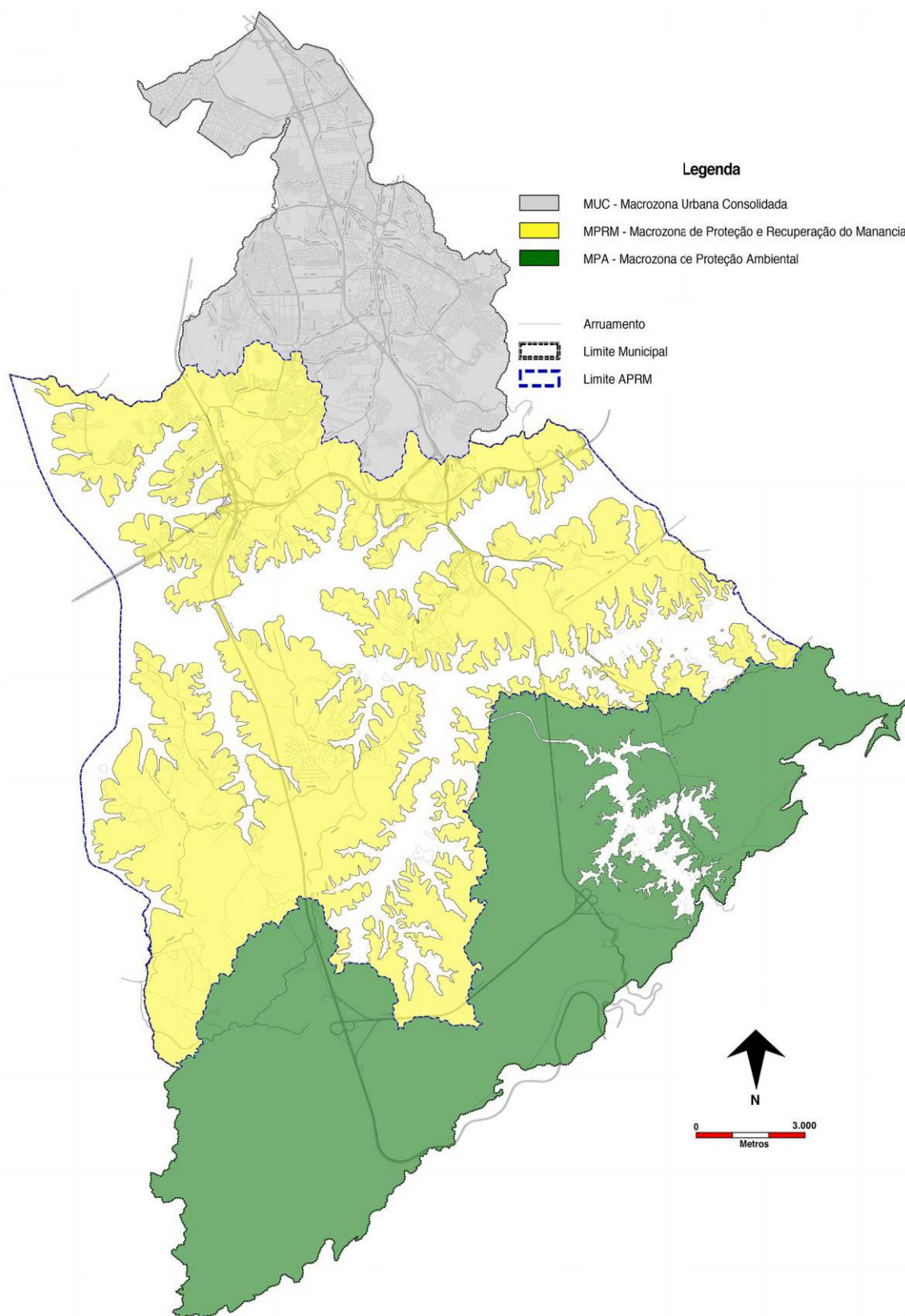
USGS - United States Geological Survey. **Landsat 8**. U. S. Department of the Interior. Disponível em: <<https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8>> Acesso em 2 de junho de 2020.

USGS - United States Geological Survey. **USGS EROS Archive - Digital Elevation - Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Non-Void Filled**. Disponível em: <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-non?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects> Acesso em 2 de Junho de 2020a.

WINGE, M. **Diáclase**. Serviço Geológico do Brasil, Brasília, 2016. Disponível em < <http://sigep.cprm.gov.br/glossario/verbete/diaclese.htm>> Acesso em 13 janeiro 2021.

ZAI, C *et al.* **Mapeamento de declividade de vertentes: aplicação na APA Guaratuba/Paraná**. In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia, 6-10 set. 2006, Goiânia.

Figura 2 – Macrozoneamento



Fonte: Plano Diretor Municipal, 2011.